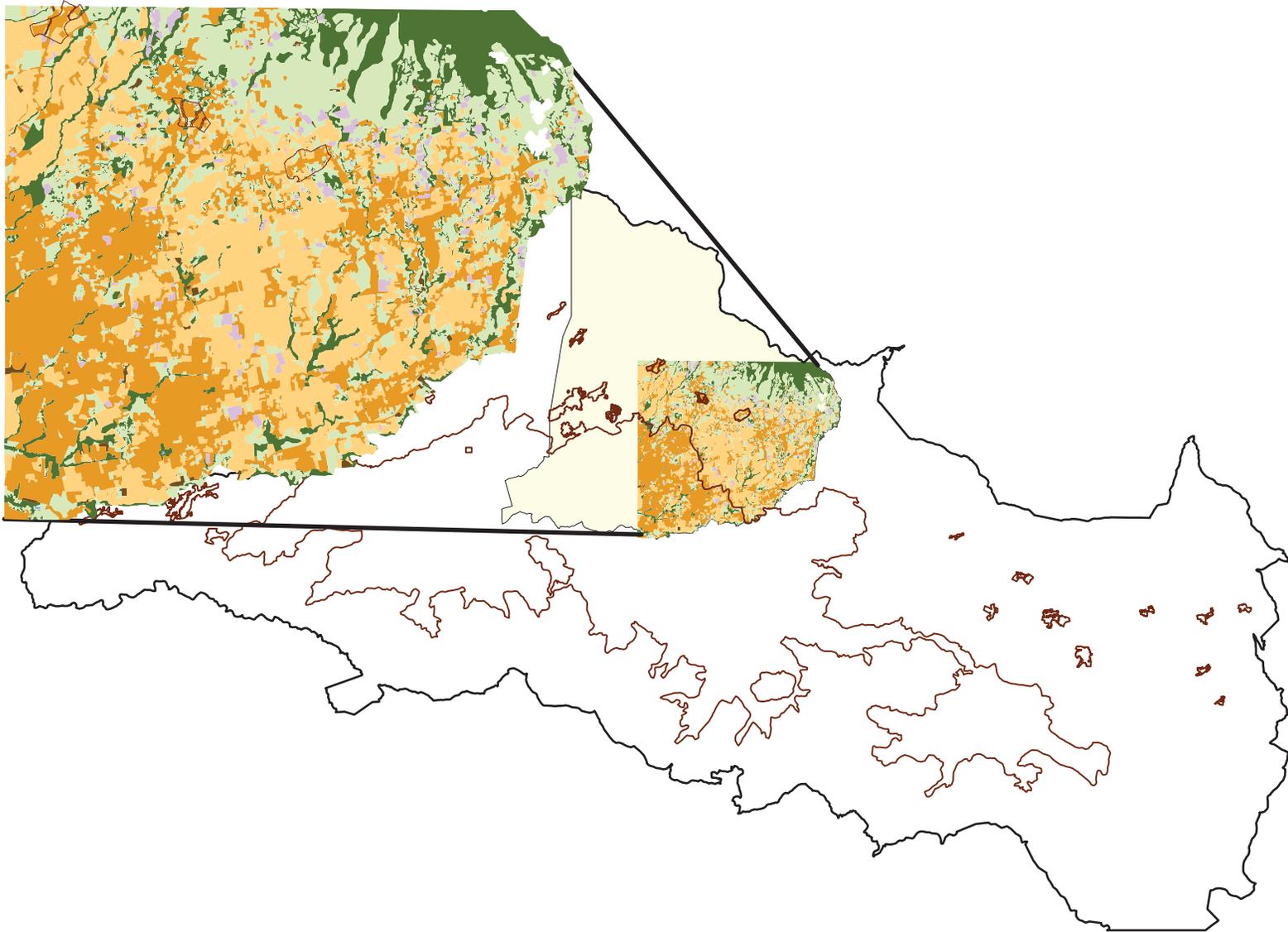
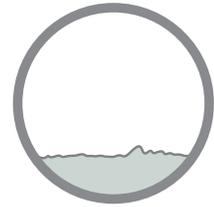
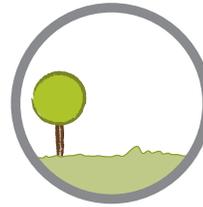
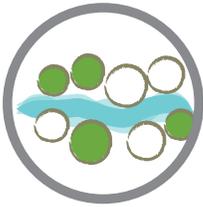


Restricciones a la urbanización y valores del suelo en el Gran Área Metropolitana: El caso del Norte de Heredia

Proyecto A9604



Septiembre 2011



**Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la Gran Área Metropolitana:
El caso del Norte de Heredia**
Proyecto A9604



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica: septiembre de 2011



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

**Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la Gran Área Metropolitana:
El caso del Norte de Heredia
Proyecto A9604**

Dirección y edición: Rosendo Pujol Mesalles rosendo.pujol@ucr.ac.cr

Coordinación: Eduardo Pérez Molina

Equipo de trabajo:

Eduardo Pérez Molina:

eperez@produs.ucr.ac.cr

Leonardo Sánchez Hernández:

lsanchez@produs.ucr.ac.cr

Luis Zamora González:

lzamora@produs.ucr.ac.cr

Procesamiento de información:

David Alfaro

Francisco Álvarez

Gabriel Corrales

Leyla Hoppe

Juan Rafael Sánchez

Railly Solano

Natalia Zúñiga

Favor citar como:

Pérez, E., Pujol, R., Sánchez, L. & Zamora, L. (2011). *Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la Gran Área Metropolitana. El caso del Norte de Heredia* (Proyecto A9604). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

**Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la Gran Área Metropolitana:
El caso del Norte de Heredia
Proyecto A9604**

Tabla de contenidos

Sección 1. Desarrollo urbano y proceso de urbanización en el norte de Heredia..	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. El crecimiento urbano de Heredia en el contexto regional.....	14
1.3. Concentración de actividades urbanas en la GAM: tendencias y patrones	16
1.4. Expansión residencial en la Gran Área Metropolitana y Heredia	24
1.5. Patrones de uso del suelo en el norte de Heredia, 2008.....	28
1.6. Cambio de uso del suelo urbano, 1989-2008.....	31
1.7. Análisis preliminar de determinantes de la urbanización en el norte de Heredia.....	36
Sección 2. Valores del suelo en el norte de Heredia	41
2.1. El valor del suelo en una ciudad monocéntrica.....	41
2.2. Patrones de valores del suelo en el norte de Heredia: metodología de estimación ...	42
2.3. Patrones de valores del suelo en el norte de Heredia: análisis	43
2.4. Determinantes del valor del suelo en el norte de Heredia: la plusvalía del proceso de urbanización	47
Sección 3. Descripción socioeconómica del norte de Heredia	51
3.1. Aspectos generales de la población en la zona de estudio	51
3.2. Perfil demográfico del área de estudio	54
3.3. Efectos del cambio en la estructura de edades	57
3.4. Crecimiento de la población al 2030.....	59
3.5. Perfil educativo de la zona de estudio	59
3.6. Niveles de Ingresos y Necesidades Básicas Insatisfechas	64
3.7. Características de las personas empleadas en la zona de estudio.....	69
3.8. Presencia de norteamericanos y europeos en la zona de estudio	71
Sección 4. Costo de transporte y accesibilidad en Heredia	73
4.1. Sistema de carreteras y desarrollo urbano: una relación endógena	73
4.2. El sistema vial en el norte de Heredia	74
4.3. Hacia un índice de costos de transporte: insumos para su elaboración	77
4.4. Análisis espacial en la construcción de un índice de accesibilidad	78
4.5. Accesibilidad en congestión y accesibilidad en flujo libre: análisis de patrones espaciales resultantes.....	85
Sección 5. Tamaño de las propiedades en la zona de estudio.....	91
5.1. Tamaño de lotes en la zona de estudio.....	91
5.2. Tamaño de lotes en cantones y distritos de la zona de estudio	93
Sección 6. Regulaciones territoriales en el norte de Heredia.....	119
6.1. La regulación y el desarrollo urbano.....	119
6.2. Regulaciones urbanas en la zona de estudio.....	122
El plan regional de la GAM.....	122
Planes reguladores en la zona de estudio	128
Sección 7. Aguas subterráneas: el recurso hídrico en la zona de estudio	137
7.1. Descripción del recurso.....	137
Zona A. Acuíferos de potencial alto	140
Zona B. Acuíferos de potencial medio	140
Zonas C. Acuíferos de potencial bajo	141

7.2.	Recarga	141
7.3.	Calidad del agua	142
7.4.	Importancia de la zona como abastecedor de agua. Uso actual	145
7.5.	Nitrato y nitrito	147
	Fuentes	147
	Presencia en el agua	147
	Efectos sobre la salud	148
Sección 8.	Variaciones del valor del suelo en el límite de crecimiento urbano del norte de Heredia: diferenciales espaciales y temporales, 1987-2008	157
8.1.	Marco conceptual	157
8.2.	Estrategia metodológica.....	160
	Modelación del valor del suelo y el impacto del límite de crecimiento	160
	Fuente de datos	162
	Instrumentos econométricos y estadísticos	164
8.3.	Resultados y discusión	169
	Modelo de precios hedónicos base.....	169
	Tendencias de los valores del suelo	172
	El impacto del límite de crecimiento.....	175
	El impacto del límite de crecimiento bajo una suposición de endogeneidad	178
8.4.	Conclusiones.....	180
8.5.	Anexo	182
Sección 9.	Reflexiones finales.....	193
Sección 10.	Referencias bibliográficas.....	199

Índice de cuadros

Sección 1.	Desarrollo urbano y proceso de urbanización en el norte de Heredia.....	3
	Cuadro 1. Crecimiento del área urbana en cinco poblaciones de Heredia, 1962-1979.....	13
	Cuadro 2. Cantidad de viviendas urbanas en la región metropolitana de San José.....	14
	Cuadro 3. Cantidad de clientes del sector eléctrico residencial: viviendas con acceso a electricidad	15
	Cuadro 4. Uso del suelo en 1998 para áreas urbanizadas entre 1998 y 2008	39
Sección 2.	Valores del suelo en el norte de Heredia	41
	Cuadro 1. Cantidad de registros geolocalizados en la base de datos de hipotecas	42
	Cuadro 2. Diferencia entre valor del suelo promedio (EEUU\$/m ² de 2008) de zonas urbanas y zonas rurales, 1998 y 2007.....	47
	Cuadro 3. Determinantes del valor del suelo (EEUU\$/m ² de 2008) en Heredia, 2008	49
	Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de variables utilizadas en el modelo de regresión	49
Sección 3.	Descripción socioeconómica del norte de Heredia	51
	Cuadro 1. Tasas de crecimiento anual intercensales en la zona de estudio 1963-2000	52
	Cuadro 2. Nivel educativo en el área de estudio, 2000.....	60
	Cuadro 3. Nivel educativo en el área de estudio, 2000.....	62
	Cuadro 4. Analfabetismo en la zona de estudio, 2000.....	63
	Cuadro 5. Cantidad de escuelas y estudiantes matriculados según tipo, 2009	63
	Cuadro 6. Cantidad de colegios y estudiantes matriculados según tipo, 2009	64
	Cuadro 7. Distribución porcentual de los empleados por actividad económica	70
Sección 5.	Tamaño de las propiedades en la zona de estudio.....	91
	Cuadro 1. Zona de Estudio: Área de lote según percentil (m ²) y cantón	93
	Cuadro 2. Cantón y distritos de Heredia dentro de la GAM: Área de lote en m ²	93
	Cuadro 3. Cantón y distritos de Santo Domingo: Área de lote en m ²	95

Cuadro 4. Distritos del cantón de San Rafael: Área de lote en m ²	100
Cuadro 5. Distritos del cantón de San Isidro: Área de lote en m ²	101
Cuadro 6. Distritos Barva: Área de lote en m ²	103
Sección 7. Aguas subterráneas: el recurso hídrico en la zona de estudio	137
Cuadro 1. Usos del suelo (2005, 2008) en unidades acuíferas de zona de estudio	138
Cuadro 2. Usos del suelo (2005, 2008) según la clasificación de la zona por potencial acuífero	141
Cuadro 3. Valores promedio de concentraciones de nitrato en pozos y nacientes abastecidos por los acuíferos Barva y Colima	144
Cuadro 4. Número más probable de coliformes fecales (NMPF) en 58 muestras del área de estudio	145
Cuadro 5. Concesiones de agua de pozos de MINAET en área de estudio	146
Cuadro 6. Concesiones de agua de nacimientos de MINAET en área de estudio	146
Cuadro 7. Registros de agua de pozos de SENARA en área de estudio	146
Sección 8. Variaciones del valor del suelo en el límite de crecimiento urbano del norte de Heredia: diferenciales espaciales y temporales, 1987-2008	157
Cuadro 1. Coeficientes de regresión de variables seleccionadas para modelos finales	171
Cuadro 2. Coeficientes de regresión de modelos logit que definen el propensity score. Variable dependiente: 1 si registro está fuera del límite de crecimiento urbano	178
Cuadro 3. Impacto del límite de crecimiento urbano sobre los valores del suelo. Resultados de <i>propensity score matching</i>	179

Índice de figuras

Sección 1. Desarrollo urbano y proceso de urbanización en el norte de Heredia.....	3
Figura 1. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 2001-2008	19
Figura 2. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 1993-2008	20
Figura 3. Ejemplos de usos urbanos	28
Figura 4. Ejemplos de usos agropecuarios	29
Figura 5. Ejemplos de sistemas naturales.....	29
Figura 6. Ejemplos de otros usos	30
Figura 7. Representación esquemática de perfil del uso del suelo en el norte de Heredia	30
Figura 8. Porcentaje de crecimiento urbano según proximidad al sistema de vías y pendiente del terreno	36
Sección 2. Valores del suelo en el norte de Heredia	41
Figura 1. Valor del suelo promedio por distrito en la zona de estudio vs. tiempo de viaje en flujo libre a San José.....	44
Sección 3. Descripción socioeconómica del norte de Heredia	51
Figura 1. Población proyectada (miles) al 2011 en los cantones del área de estudio	52
Figura 2. Crecimiento Natural población en la zona de estudio 1975-2010	53
Figura 3. Perfiles de población por grupos de edad, distritos de la zona de estudio	55
Figura 4. Estructura de la población por grupos quinquenales de edad y sexo 2000-2030 ...	57
Figura 5. Proyecciones de población al 2030.....	59
Figura 6. Perfil educativo de la zona de estudio, 2000	61
Figura 7. Distribución porcentual de los hogares de la zona de estudio por estrato socioeconómico según distrito.....	67
Figura 8. Porcentaje de viviendas con al menos una NBI según distrito de la zona de Estudio	69
Figura 9. Distribución porcentual de los empleados por tipo de actividad.....	71

Figura 10. Porcentaje de norteamericanos y europeos respecto al total de otras nacionalidades según distrito de la zona de estudio.....	72
Sección 4. Costo de transporte y accesibilidad en Heredia.....	73
Figura 1. Ejemplo de aplicación del algoritmo para determinar costos de transporte acumulado suponiendo costos unitarios	81
Figura 2. Esquema de estimación de accesibilidad en zona de estudio	82
Figura 3. Proceso de estimación de coberturas de accesibilidad.....	83
Sección 5. Tamaño de las propiedades en la zona de estudio.....	91
Figura 1. Zona de Estudio: Área de lote según percentil (m2).....	91
Figura 2. Zona de Estudio: Área de lote según percentil (m2) y cantón.....	92
Figura 3. Cantón y distritos de Heredia dentro de la GAM: Área de lote en m2.....	94
Figura 4. Heredia: Área de lote acumulada en m2 (versus tamaño de lote)	94
Figura 5. Heredia: Área de lote acumulada en m2 (versus cantidad de lotes).....	95
Figura 6. Cantón y distritos de Santo Domingo: Área de lote en m2.....	96
Figura 7. Santo Domingo: Área de lote acumulada en m2 (versus tamaño de lote).....	96
Figura 8. Santo Domingo: Área de lote acumulada en m2 (versus cantidad de lotes)	97
Figura 9. Cantón de San Pablo: Área de lote en m2.....	97
Figura 10. San Pablo: Área de lote acumulada en m2 (versus tamaño de lote)	98
Figura 11. San Pablo: Área de lote acumulada en m2 (versus cantidad de lotes)	98
Figura 12. Distritos del cantón de San Rafael: Área de lote en m2	99
Figura 13. San Rafael: Área de lote acumulada en m2 (versus tamaño de lote)	99
Figura 14. San Rafael: Área de lote acumulada en m2 (versus cantidad de lotes).....	100
Figura 15. Distritos del cantón de San Isidro: Área de lote en m2	101
Figura 16. San Isidro: Área de lote acumulada en m2 (versus tamaño de lote).....	102
Figura 17. San Rafael: Área de lote acumulada en m2 (versus cantidad de lotes).....	102
Figura 18. Distritos Barva: Área de lote en m2	103
Figura 19. Barva: Área de lote acumulada en m2 (versus tamaño de lote).....	104
Figura 20. Barva: Área de lote acumulada en m2 (versus cantidad de lotes)	104
Sección 7. Aguas subterráneas: el recurso hídrico en la zona de estudio	137
Figura 1. Sección transversal idealizada de la Cuenca del Río Virilla mostrando los diferentes acuíferos	137
Sección 8. Variaciones del valor del suelo en el límite de crecimiento urbano del norte de Heredia: diferenciales espaciales y temporales, 1987-2008	157
Figura 1. Variaciones del valor del suelo en el límite de crecimiento urbano del norte de Heredia: diferenciales espaciales y temporales, 1987-2008	158
Figura 2. El efecto hipotético del límite de crecimiento urbano sobre el gradiente de precios	159
Figura 3. El efecto esperado del límite de crecimiento sobre el gradiente de precios en la zona de estudio. Descripción teórica de situación actual	164
Figura 4. Base de datos geolocalizada para modelación del valor del suelo	172
Figura 5. Coeficientes de regresión de variables dicotómicas que representan cada año. Modelo de regresión 1 estimado con base en ecuación [1] y base de datos 1987-2009	172
Figura 6. Coeficiente de valor del suelo por año vs. mediana del ingreso por hogar.....	173

Índice de mapas

Sección 1. Desarrollo urbano y proceso de urbanización en el norte de Heredia.....	3
Mapa 1. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 2001-2008	21
Mapa 2. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 1993-2000	22

Mapa 3. Cocientes de localización de área construida residencial por tipo de residencia para distritos de la Gran Área Metropolitana, 2001-2008.....	25
Mapa 4. Cocientes de localización de área construida residencial por tipo de residencia para distritos de la Gran Área Metropolitana, 1993-2000.....	26
Mapa 5. Uso del suelo en el norte de Heredia, 2008	33
Mapa 6. Cambio de uso del suelo en el norte de Heredia, 1989-2008.....	37
Sección 2. Valores del suelo en el norte de Heredia	41
Mapa 1. Valores del suelo en el norte de Heredia, 2007	45
Sección 4. Costo de transporte y accesibilidad en Heredia.....	73
Mapa 1. Red vial y conectividad en la zona de estudio.....	75
Mapa 2. Pendientes promedio en tramos de la red vial nacional en la zona de estudio.....	79
Mapa 3. Accesibilidad al sistema de transportes en el área metropolitana de Heredia. Estimación B: Flujo libre.....	87
Mapa 4. Accesibilidad al sistema de transportes en el área metropolitana de Heredia. Estimación A: Hora pico.....	89
Sección 5. Tamaño de las propiedades en la zona de estudio.....	91
Mapa 1. Áreas de lote según catastro en el cantón de Heredia	105
Mapa 2. Área de lote en los distritos del cantón de Heredia.....	107
Mapa 3. Áreas de ñpte según catastro en el cantón San Pablo de Heredia	108
Mapa 4. Área de lote en los distritos del cantón Santo Domingo de Heredia.....	109
Mapa 5. Áreas de lote según catastro en el cantón San Rafael de Heredia	111
Mapa 6. Áreas de lote según catastro en el cantón San Isidro de Heredia.....	113
Mapa 7. Áreas de lote según catastro en el cantón Barva de Heredia.....	115
Mapa 8. Área de lote en los distritos del cantón Barva de Heredia	117
Sección 6. Regulaciones territoriales en el norte de Heredia	119
Mapa 1. Altura máxima en la zona de estudio.....	131
Mapa 2. Porcentaje de cobertura máximo en la zona de estudio	133
Mapa 3. Coeficientes de edificabilidad en la zona de estudio.....	135
Sección 7. Aguas subterráneas: el recurso hídrico en la zona de estudio	137
Mapa 1. Área de estudio del presente trabajo.....	140
Mapa 2. Hidrogeología en el norte de Heredia.....	149
Mapa 3. Recarga en el norte de Heredia.....	150
Mapa 4. Vulnerabilidad en el norte de Heredia	151
Mapa 5. Valores promedio de concentraciones de nitrato en pozos y nacientes abastecidos por los acuíferos Barva y Colima.....	153
Mapa 6. Conseciones de agua del MINAET y pozos de SENARA en área de estudio	155



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Sección 1. Desarrollo urbano y proceso de urbanización en el norte de Heredia

Se describen en esta sección las tendencias recientes del desarrollo urbano en la zona de estudio. Un primer y segundo apartados incluyen antecedentes sobre el crecimiento histórico de la ciudad de Heredia y sus zonas cercanas, con especial énfasis hacia las poblaciones ubicadas al norte de la ciudad (la zona de estudio). Los patrones de concentración de actividades y de tipologías de desarrollo residencial fueron explorados a partir de la estimación de cocientes de localización aplicados a nuevas áreas construidas. Seguidamente, se describen los patrones de uso urbano a partir de un análisis fotogramétrico de imágenes satelitales (DigitalGlobe, 2009) y fotografías aéreas (CENIGA, 1998). El análisis enfatiza particularmente en los cambios de uso del suelo urbano, identificados comparando ambas imágenes. Finalmente, se analiza el cambio de uso del suelo por cuenca, con el objetivo de identificar los potenciales impactos, provocados por la urbanización, de inundaciones aguas abajo.

1.1. Antecedentes

El crecimiento urbano de la Gran Área Metropolitana ha sido tradicionalmente acelerado y expansivo. Pese a la definición de una frontera de crecimiento a inicios de la década de 1980, los patrones de crecimiento no se han modificado tipológicamente sino hasta muy recientemente (cuando la expansión tradicional en los bordes se ha visto complementada por una incipiente renovación urbana de San José y construcción vertical en Escazú). Ya para inicios de la década de 1990, se habían urbanizado zonas carentes de servicios públicos por haber sido definidas como reserva, en abierta violación al límite de crecimiento urbano (Monzón, 1993). Otras violaciones a la planificación regional incluían la urbanización, para usos habitacionales, de zonas definidas como industriales. El desarrollo era ya uniformemente expansivo hacia la periferia de cinco núcleos principales: San José, Escazú, Alajuela, Río Segundo y Heredia – aunque la vivienda social se concentraba en unos pocos distritos, sobre todo al sur de San José (Monzón, 1993).

El esquema básico de expansión urbana en la Gran Área Metropolitana fue descrito en Pujol (1988). La ciudad de San José misma creció en sus bordes con una continua pérdida de población en los distritos centrales (antiguo casco urbano) desde por lo menos la década de 1970. Esto indica que parte del crecimiento fue emigración de la ciudad a urbanizaciones, siempre siguiendo el mismo esquema de viviendas individuales en uno o dos pisos. Paralelamente, las ciudades secundarias (Heredia, Cartago y Alajuela) y algunos centros terciarios – originalmente poblaciones separadas de San José como Guadalupe o Desamparados – se expandieron de la misma forma. A partir de la década de 1980s, algunos de estos centros terciarios (e.g. Guadalupe o Santo Domingo de Heredia) exhibían la misma pérdida de población en sus cuadrículas centrales que San José (Pujol, 1988).

En cuanto a diversidad de uso del suelo, la Gran Área Metropolitana ha sufrido un proceso de especialización de ciertas actividades. En una evaluación de la diversidad de uso del suelo en la GAM con datos de 1989, González (1994) concluyó que existía entonces poca heterogeneidad en la región. En general, fuera de los distritos centrales de San José y Alajuela, predominaban usos habitacionales o no urbanos (agropecuarios y naturales). En el cantón de Cartago, dominaban los usos agropecuarios. También existían distritos con concentraciones particularmente altas de usos habitacionales, en particular Santo Domingo y Santa Bárbara en Heredia. Desde entonces, este patrón ha venido cambiando conforme se expandieron las ciudades hacia sus bordes: esta expansión fue sobre todo de usos residenciales pero con

diversidad de distritos especializados en ciertas funciones (industriales, comerciales, de servicios). Este aspecto se explora en la parte 1.3.

Desde la década de 1980, se reportaba un gran crecimiento de la región metropolitana: 114 mil viviendas construidas¹ entre 1984 y 1992 (Alpízar, 1994). Aunque la abrumadora mayoría del crecimiento fue residencial, ya entonces se configuraban algunos patrones que se han venido acentuando con el tiempo: las viviendas construidas al sur de la ciudad de San José (zonas que coincidieron con los principales proyectos de vivienda social del periodo) y en la periferia de Cartago eran de menor calidad y valor, en tanto que distritos al Este y Oeste de San José, (cantones de Curridabat, Montes de Oca y Escazú), así como la Asunción en Heredia, presentaban construcciones de mayor valor y calidad. Los condominios se concentraban en las localizaciones más centrales, en un anillo de distritos adyacente a los cuatro distritos centrales de San José. Las urbanizaciones del periodo, en cambio, ocupaban tierras anteriormente agrícolas al Noreste (Ipís, Patalillo, Trinidad y San Jerónimo) y Sur (Desamparados y Alajuelita) de San José – en zonas donde predominaban las viviendas de menor calidad y la vivienda social era particularmente importante.

Analizando las zonas disponibles para crecimiento, Mora (2003) concluyó que en 1998, el espacio desarrollable en las localizaciones más centrales de San José estaba prácticamente agotado; las áreas disponibles se encontraban relativamente alejadas del centro. Heredia y Barva tenían una importante área ocupada pero existían entonces reservas significativas para desarrollo urbano. Las mayores reservas de área desarrollable de la región estaban en el cantón de Alajuela. Entre 1983 y 2000, el área urbana de la región se duplicó. Cerca del 90% de este crecimiento correspondió a urbanización de áreas designadas como de reserva habitacional en el plan regional de 1983. Este crecimiento fue producto de condiciones demográficas (aumento de la población y disminución en el tamaño de los hogares) y un desarrollo urbano poco denso (Mora, 2003).

Pujol et al. (2009) detectaron una lógica similar de agotamiento del área desarrollable en la región durante 1984-1997: con crecimientos muy rápidos del uso urbano cuando había área desarrollable que se estabilizaban al agotarse esta. A mediano plazo, se esperaba la tendencia de desarrollo horizontal resultara en zonas urbanas cada vez menos accesibles al conjunto de la región.

Monge (1986) analizó el crecimiento urbano en cinco centros de población de Heredia (Heredia mismo, San Antonio de Belén, Barva, San Rafael y San Isidro) como parte de una evaluación del impacto del crecimiento urbano sobre la calidad y recarga de aguas subterráneas. Comparando fotografías aéreas de 1962, 1973 y 1979, encontró una importante expansión de la mancha urbana: Heredia, que en 1962 tenía 129,7 ha. de uso urbano, aumentó en 91 ha. entre 1962 y 1973, y 67,4 entre 1973 y 1979. Las otras poblaciones más que duplicaron su área (vea cuadro 1; véase Monge, 1986). Sin embargo, durante este primer periodo, la mayoría de

¹ Alpízar (1992) realizó sus estimaciones a partir de bases de datos de permisos de construcción (de la entonces Dirección General de Estadística y Censos) y de permisos de urbanización (de la Oficina Centralizadora de Permisos). Dado que son solicitudes y no una contabilización de proyectos construidos, la cifra corresponde a un máximo de viviendas formales. Es poco probable que el total real sea mucho menor, pues el otorgamiento del permiso se hace previo pago de impuestos. Esta cifra no incluye las viviendas informales (ilegalmente construidas) que significaron decenas de miles durante este periodo pero sí incluye los proyectos de formalización de dichas viviendas construidos por el Estado y que para mediados de la década de 1990 habían sustituido a la mayoría de estas viviendas informales. Monzón (1993) cifra la cantidad de viviendas sociales construidas por el Estado entre 1986 y 1990 en 80548.

crecimiento probablemente fue cercano a los núcleos (por comparación con lo que sucedería décadas más tarde) porque la motorización del transporte de personas era incipiente.

Cuadro 1. Crecimiento del área urbana en cinco poblaciones de Heredia, 1962-1979

Población	Área urbana	Crecimiento del área urbana	
	1962	1962-1973	1973-1979
Heredia	129,78	91,02	67,36
Barva	13,51	50,46	57,71
San Rafael	7,61	37,21	79,80
San Isidro	6,31	7,46	94,04
San Antonio de Belén	26,36	61,03	115,57

Fuente: Monge, 1986

Parte del crecimiento poblacional de Heredia en este periodo es atribuido por Monge (1986) a la densificación de la red vial local a través del mejoramiento de caminos rurales, que aumentó los niveles de accesibilidad entre los pueblos y la ciudad de Heredia. Este resultó en una diferenciación social: un crecimiento en torno a los cascos urbanos, en particular de Heredia, para la mayoría de la población, y la construcción de viviendas de mayor valor en parajes naturales atractivos pero más alejados de los centros de población para los sectores de mayores ingresos. En general, el crecimiento ocurrió a lo largo de la red vial cantonal, que como se dijo fue mejorada sustancialmente durante las décadas de 1960 y 1970.

Un análisis del mercado inmobiliario en la ciudad de Heredia para 1965-1994 (Alfaro y Alfaro, 1994), a partir de una base de datos de urbanizaciones, reveló algunas importantes realidades sobre las dinámicas subregionales: para Heredia y San Pablo, el 46% del área estuvo compuesto por "fraccionamiento y urbanización" (lotes para construcción, sobre todo residencial) y un 4% de "fraccionamiento industrial" (lotes de mayor tamaño para ubicación de industrias). La vivienda de interés social tuvo una muy importante participación con el 18% del área – aunque desde entonces, prácticamente ha desaparecido la oferta de vivienda social en Heredia y más generalmente en la región (véase Pujol et al., 2009). Solo un 4% del área se categorizó como fraccionamiento, i.e. segregación de lotes sin construcción de infraestructura urbana. El 28% restante fue urbanizado como "urbanización y vivienda" (Alfaro y Alfaro, 1994). Es muy probable que esta tipología haya cambiado radicalmente desde mediados de la década de 1990. Actualmente, dentro del límite de crecimiento urbano es de esperar que exista una mayor cantidad de condominios (una categoría básicamente inexistente en 1965-1994 para Heredia) y fuera de él, los fraccionamientos predominan pues la urbanización tradicional está prohibida por la regulación regional. Tómese en cuenta, sin embargo, que Alfaro y Alfaro, 1994, trabajaron un área dentro del límite de crecimiento urbano e incluyeron varios lustros antes de que entrara en vigencia el Plan GAM de 1982, de modo que sus resultados no son estrictamente extrapolables a toda la zona de estudio.

Evaluaciones del crecimiento urbano hacia el Norte y Este de Heredia (San Rafael, San Isidro y Santo Domingo) en el periodo 1989-2001 revelaron la profundización de algunas de estas tendencias (Delgado, 2002). Tómese en cuenta que el crecimiento poblacional entre 1963 y 1984 fue menor, en términos absolutos, que entre 1984 y 2000. Asimismo, se expandió sustancialmente el uso de vehículos privados para transporte personal en la década de 1990, comparado con años anteriores. Así, el crecimiento urbano 1989-2000 continuó a lo largo de las redes viales pero con mayor intensidad sobre la ruta nacional 32 y las poblaciones de San Miguel y San Vicente de Santo Domingo, así como un aumento en la dispersión del desarrollo urbano en torno a San Isidro (Delgado, 2002). Este cambio en el patrón de crecimiento

probablemente esté asociado a la accesibilidad adicional que recibieron las áreas de Santo Domingo y San Isidro por la construcción de la carretera nacional 32 a fines de la década de 1980: mediante ella, esta zona obtuvo una conexión vial directa con San José, reduciendo sustancialmente los tiempos (y costos) de viaje de sus habitantes.

1.2. El crecimiento urbano de Heredia en el contexto regional

El crecimiento urbano regional presenta una tendencia hacia un crecimiento muy acelerado, justificado por el aumento poblacional del país y la región durante toda la segunda mitad del siglo XX. Estas tendencias, sin embargo, no son constantes a lo largo de toda la región: en general, en términos absolutos, San José tiende a crecer en mayor medida. En términos relativos, el crecimiento es mayor en otras ciudades – particularmente en Heredia, que se ha convertido en la segunda ciudad más grande de la región.

El cuadro 2 muestra la tendencia de largo plazo en la distribución y crecimiento de las viviendas urbanas en la región (entendida como el conjunto de cantones que, en 1983, fueron declarados como la Gran Área Metropolitana). En primer término, es claro que la mayoría de la población urbana se ha concentrado siempre en San José: hasta 1984, el 75% de las viviendas urbanas estaban en esta ciudad; sin embargo, este porcentaje decreció a un 66% para el censo del año 2000. Este porcentaje, para Heredia, tendió a crecer. Pasó de un 8,4% en 1973 a un 14% en 2000.

Cuadro 2. Cantidad de viviendas urbanas en la región metropolitana de San José

Área Metropolitana	Viviendas urbanas				Tasa de crecimiento interanual equivalente ²		
	1963	1973	1984	2000	1963-1973	1973-1984	1984-2000
San José	50 720	84 597	162 160	293 402	3,25%	4,15%	3,78%
Alajuela	4120	7782	15 149	38 359	4,05%	4,25%	5,98%
Cartago	4460	9516	15 666	46 188	4,85%	3,16%	6,99%
Heredia	5230	9599	22 286	62 450	3,87%	5,41%	6,65%
Región	64 530	111 494	215 261	440 399	3,48%	4,20%	4,58%

Fuente: Censos nacionales de vivienda, 1963, 1973, 1984 y 2000 (consultado en el sitio de Internet del Centro Centroamericano de Población: <http://www.ccp.ucr.ac.cr/>)

Las tasas de crecimiento interanual son reflejo del rápido crecimiento poblacional que experimentó el país durante la segunda mitad del siglo XX y también de la transformación de la economía regional de una base cafetalera a producción industrial y de servicios (i.e. su urbanización). Las tasas de crecimiento en San José son menores que el promedio regional. San José, durante todo el siglo XX, siempre fue la más urbana de las ciudades del Valle Central (razón por la cual el crecimiento debido a cambios en la estructura económica es menor) y sigue concentrando la gran mayoría de la población urbana. El fenómeno parece estarse

² Las tasas de crecimiento se estiman suponiendo una progresión geométrica de acuerdo con la fórmula: $V_f = V_0(1+i)^n$ donde V_f es el valor del periodo final, V_0 el valor del periodo inicial, n la cantidad de periodos

e i la tasa de crecimiento. Este se estima: (a) despejando la fórmula $\left(\frac{V_f}{V_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 = i$ si solo existen dos

datos – caso del cuadro 1 – o (b) estimando mediante mínimos cuadrados ordinarios la pendiente de la recta dada por la ecuación $\ln(V_f) = \ln(V_0) + n \cdot \ln(1+i)$ cuando hay una serie de datos con varios periodos, donde las variables son n (independiente) y V_f (dependiente) – caso del cuadro 2.

acelerando en Heredia, donde la tasa de crecimiento interanual para cada periodo censal sucesivo es mayor. Heredia es la ciudad más cercana a San José de las capitales subregionales y esta accesibilidad adicional probablemente justifique cierta migración de San José hacia Heredia (aunque análisis de las migraciones 1995-2000 han revelado que, para la GAM, la gran mayoría de migrantes cambiaron de residencia dentro de su misma área metropolitana; Pujol et al., 2007).

La evidencia existente sugiere que la construcción de vivienda en baja densidad durante la década de 1990 resultó en el agotamiento de los espacios urbanizables más accesibles en el Área Metropolitana de San José (véase Pujol et al., 2009; Mora, 2003). Esto, sumado a la mayor accesibilidad relativa de Heredia, cuando comparado con Alajuela y Cartago, implica que parte del crecimiento urbano que pueda haber ocurrido en Heredia durante la última década es explicable por migraciones desde San José. Ya desde la década de 1980s, algunos patrones propios de San José (en particular, el abandono de los centros históricos de población) se habían replicado en Heredia – aunque el fuerte crecimiento demográfico nacional y el aún más rápido crecimiento de la población urbana mantenían tasas de crecimiento positivas para todas las ciudades de la región (Pujol, 1988).

Cuadro 3. Cantidad de clientes del sector eléctrico residencial: viviendas con acceso a electricidad

Área Metropolitana	Viviendas totales		Tasa de crecimiento interanual equivalente ³
	2000	2008	
San José	305 902	363 392	2,04%
Alajuela	67 800	87 419	3,09%
Cartago	60 470	78 327	3,29%
Heredia	77 615	106 390	4,21%
Región	511 787	635 528	2,67%

Fuente: ICE, 2009

Durante la última década, el desarrollo urbano se ha desacelerado: las tasas de crecimiento interanual en la región se redujeron de 4,6% a 2,7%⁴ (véanse cuadros 2 y 3). En términos relativos, si bien es cierto todas las tasas de crecimiento se redujeron, la de Heredia reporta la menor disminución. De hecho, a diferencia de 1984-2000, es ahora el Área Metropolitana de Heredia la que crece a un ritmo mayor. Tómese en cuenta que, ya desde 1984, Heredia era la segunda área metropolitana en términos de viviendas urbanas, de modo que las tasas de crecimiento mayores en Heredia implican una cantidad todavía mayor de viviendas que en Alajuela o Cartago (de acuerdo con el cuadro 2, el crecimiento en Cartago, 1973-1984, del casi 7% implicó 30 mil viviendas adicionales en esos once años; en cambio, el crecimiento de Heredia del 6,65% significó 40 mil viviendas).

³ Refiérase a nota 1 para métodos de estimación de tasa de crecimiento interanual equivalente.

⁴ Parte de esta diferencia es explicable por razones metodológicas: el cuadro 2 reporta clientes del sector residencial, que es una variable *proxy* de viviendas totales (es decir, no captura el fenómeno de viviendas rurales pasando a ser urbanas, a diferencia de los datos del cuadro 1). Sin embargo, dados los niveles de urbanización existentes en 2000, es de esperar que la mayor parte de la diferencia sea explicada por cambios en las tendencias demográficas (véase, por ejemplo, Pujol et al., 2009).

1.3. **Concentración de actividades urbanas en la GAM: tendencias y patrones**

Una característica importante del desarrollo urbano en la región es su concentración tipológica (y esto es importante para Heredia, en particular, por la concentración de actividades industriales que en allí ocurrió durante la década de 1990). Así, se han detectado concentraciones de hogares de altos ingresos al este y oeste de la ciudad de San José y algunas zonas periféricas de Heredia (Pujol et al., 2011), de vivienda social al sur de San José y unos pocos distritos de Alajuela, Heredia y San José (Alpizar, 1994; Pujol et al., 2009), de desarrollo industrial en Heredia-Belén, Alajuela (El Coyol) y Coris de Cartago (véase CINPE, 2009; Pujol et al., 2007). Estas concentraciones puntuales implican una mayor diversidad del comportamiento del desarrollo urbano entre cantones de una misma área metropolitana que entre distintas áreas metropolitanas.

Polèse (1998) distingue entre los procesos de aglomeración que ocurren a escala nacional – cómo decide una industria dónde localizarse escogiendo entre subunidades de una nación (al estilo de, por ejemplo, Ellison y Glaeser, 1997) – y los procesos a escala regional: cómo selecciona esa industria, dado un contexto metropolitano, su ubicación dentro de esa región – y más generalizadamente, cómo toma esa decisión cualquier agente económico.

Existen dos conjuntos de enfoques, consistentes entre sí, que proveen una base teórica para analizar la localización subregional. Por una parte, las decisiones de comercios, servicios e industria manufacturera generalmente se exploran desde la teoría del lugar central (véase Polèse, 1998) en tanto que la localización residencial sigue típicamente el modelo de Alonso-Mills-Muth (véase Brueckner, 1987, para una síntesis)⁵. En esencia, estos modelos conciben el mercado inmobiliario como una subasta en que el uso más rentable (y que por serlo tiene una disponibilidad a pagar mayor que otros usos por una misma localización) escoge la parcela óptima para sí. Otros usos escogen localización de entre los espacios libres, con aquellos dispuestos a pagar mayor renta ocupando las mejores localizaciones – i.e. escogiendo antes.

Distintos usos tienen diversos criterios para seleccionar su localización óptima. La industria manufacturera requiere áreas grandes (y por lo tanto, de bajo valor por unidad de área), acceso a servicios públicos especializados (e.g. líneas de alta tensión, carreteras regionales) y cercanía razonable a la residencia de sus trabajadores, por lo cual tiende a ubicarse en los bordes de las regiones. Comercios y servicios pueden usar espacios pequeños en ambientes muy densos; de ahí que tiendan a buscar localizaciones centrales – y cuanto más importante el bien o servicio vendido, tanto más el cliente está dispuesto a trasladarse a ese centro (i.e. mayor la tendencia hacia la aglomeración en el lugar central; véase Polèse, 1998). En cuanto a los hogares, su decisión de localización es un intercambio entre área de vivienda y costo de transporte: según sus preferencias, seleccionan viviendas grandes lejos del centro de trabajo (familias suburbanas) o apartamentos pequeños muy cerca del centro (típicamente jóvenes o, en Estados Unidos, las poblaciones de menores ingresos – que en razón de su mayor densidad/menor área por vivienda puede generar rentas del suelo muy grandes; véase Anas, 1982).

⁵ Existe un segundo cuerpo de reflexión teórica, generalmente considerado complementario al enfoque de Alonso (Hanushek y Yilmaz, 2007): se refiere a la relación entre decisiones de localización residencial y servicios públicos. En esencia, postula que los residentes seleccionan la unidad administrativa que les provee cierta calidad de servicios públicos a determinado costo (nivel de impuestos); este enfoque fue inaugurado por Tiebout (1956) y ha sido expandido desde entonces para comprender mayor cantidad de elementos (véase Fischel, 2001).

Los patrones de localización de actividades en la GAM han sido evaluados mediante la estimación de cocientes de localización. Específicamente, se buscó determinar el *patrón de crecimiento* de usos residenciales, comerciales, de servicios e industriales. Para ello, los cocientes de localización fueron calculados usando la variable área construida para las categorías de uso: residencial, comercial, de servicios, industrial y agropecuarios. Se supone que cada permiso de construcción representa la decisión de un agente económico de localizarse en una ubicación (cantón o distrito) determinada, y el área construida permite corregir por la importancia relativa de la actividad⁶. Entonces, las nuevas áreas construidas representan los patrones de cambio en el sistema para el periodo de análisis (1994-2007) – con respecto a un patrón de actividades preexistente (la distribución de usos residenciales, comerciales, de servicios, industriales y agropecuarios de 1994).

Los cocientes de localización son una medida de la concentración de determinada actividad (típicamente empleo) en una subunidad espacialmente definida con respecto al promedio de esa actividad en toda la unidad (Sánchez et al., 2008). Existen antecedentes del uso de cocientes de localización para explorar patrones de actividad económica por lo menos desde 1939 (Moineddin et al., 2003; Guimarães et al., 2009); típicamente, se aplican a cantidad de trabajadores de un sector económico aunque más generalmente pueden interpretarse como una medida de concentración con respecto al nivel general de la región. Siguiendo a Sánchez et al. (2008), los cocientes de localización se definen como:

$$q_{ir} = \frac{e_{ir}/E_r}{e_{iT}/E_T} \quad (1)$$

donde e_{ir} es el valor de la variable de la subunidad r y del sector i (del cantón o distrito r y de la actividad i), $E_r = \sum_r e_{ir}$ (el total de la actividad i en toda la región R , i.e. en toda la GAM),

$e_{iT} = \sum_i e_{ir}$ (el total de todas las actividades i en la subunidad r , es decir, la suma de áreas

construidas para todas las actividades en el cantón/distrito r), y $E_T = \sum_r \sum_i e_{ir}$ (la suma de construcciones totales en toda la región) (Sánchez et al., 2008).

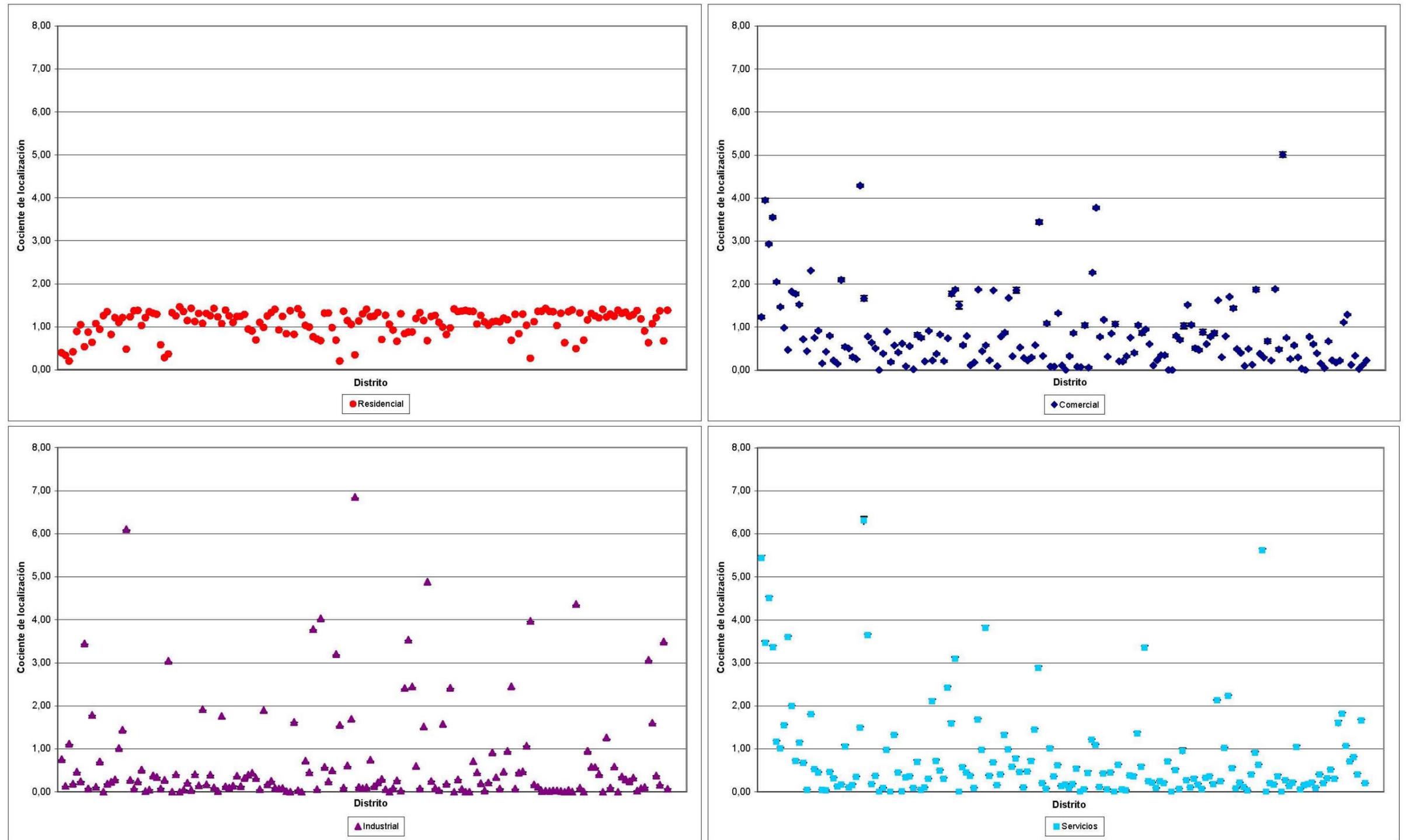
De la ecuación (1), es sencillo inferir que un valor del cociente de 1 significa que el nivel de actividad i en la subunidad r es igual que el nivel de actividad general de la unidad (región). Si el cociente es menor a 1, el nivel de la actividad i de la subunidad r es menor que el nivel general de la región. Inversamente, si el cociente es mayor a 1, la actividad i tiene mayores niveles en la subunidad r que en la región en su conjunto; i.e. la subunidad r concentra gran parte de la actividad i .

⁶ Por ejemplo, una industria requiere la misma área que muchas viviendas; si se utilizara como variable la cantidad de permisos de construcción, se subestimaría la importancia relativa de la industria.



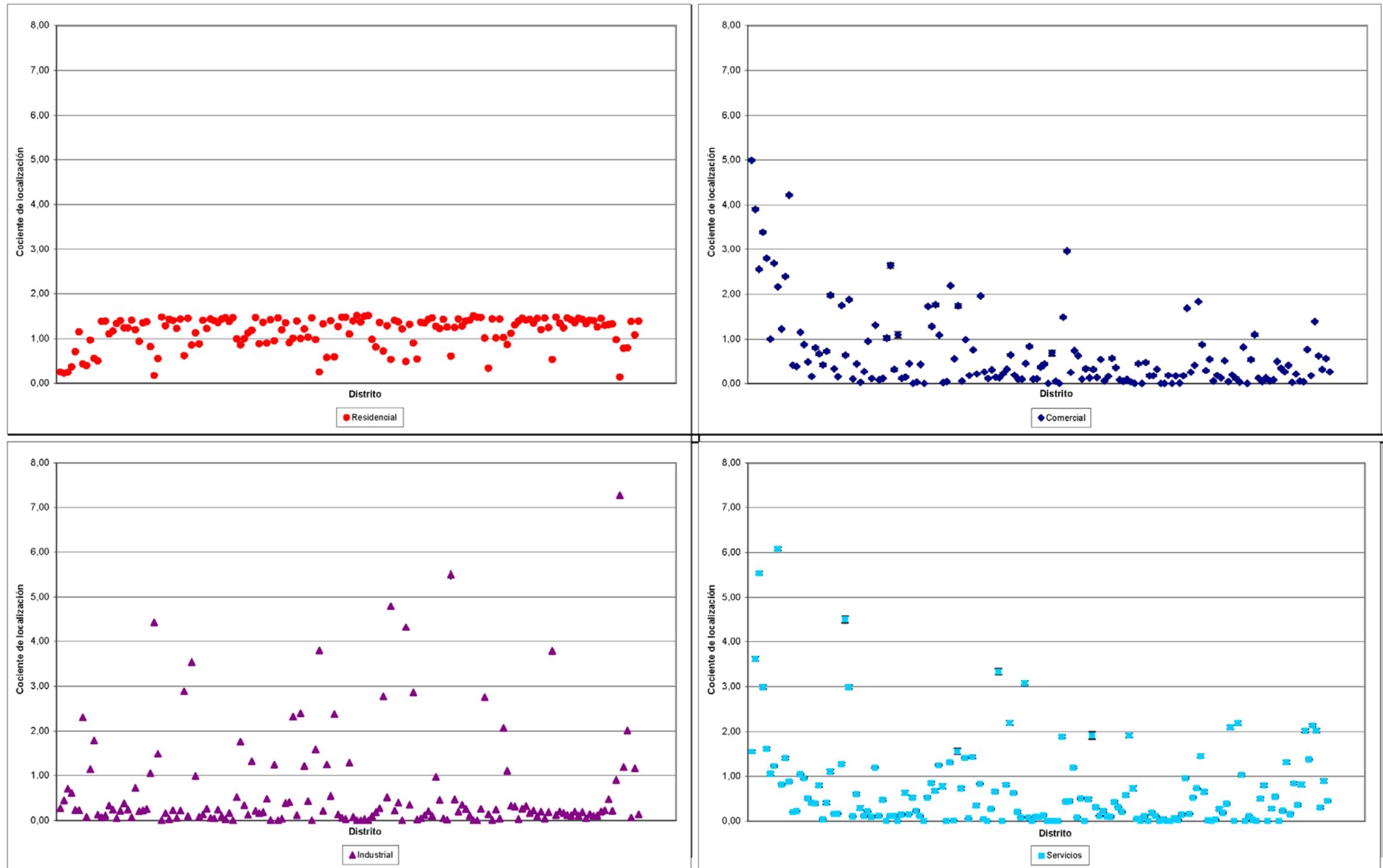
Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Figura 1. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 2001-2008



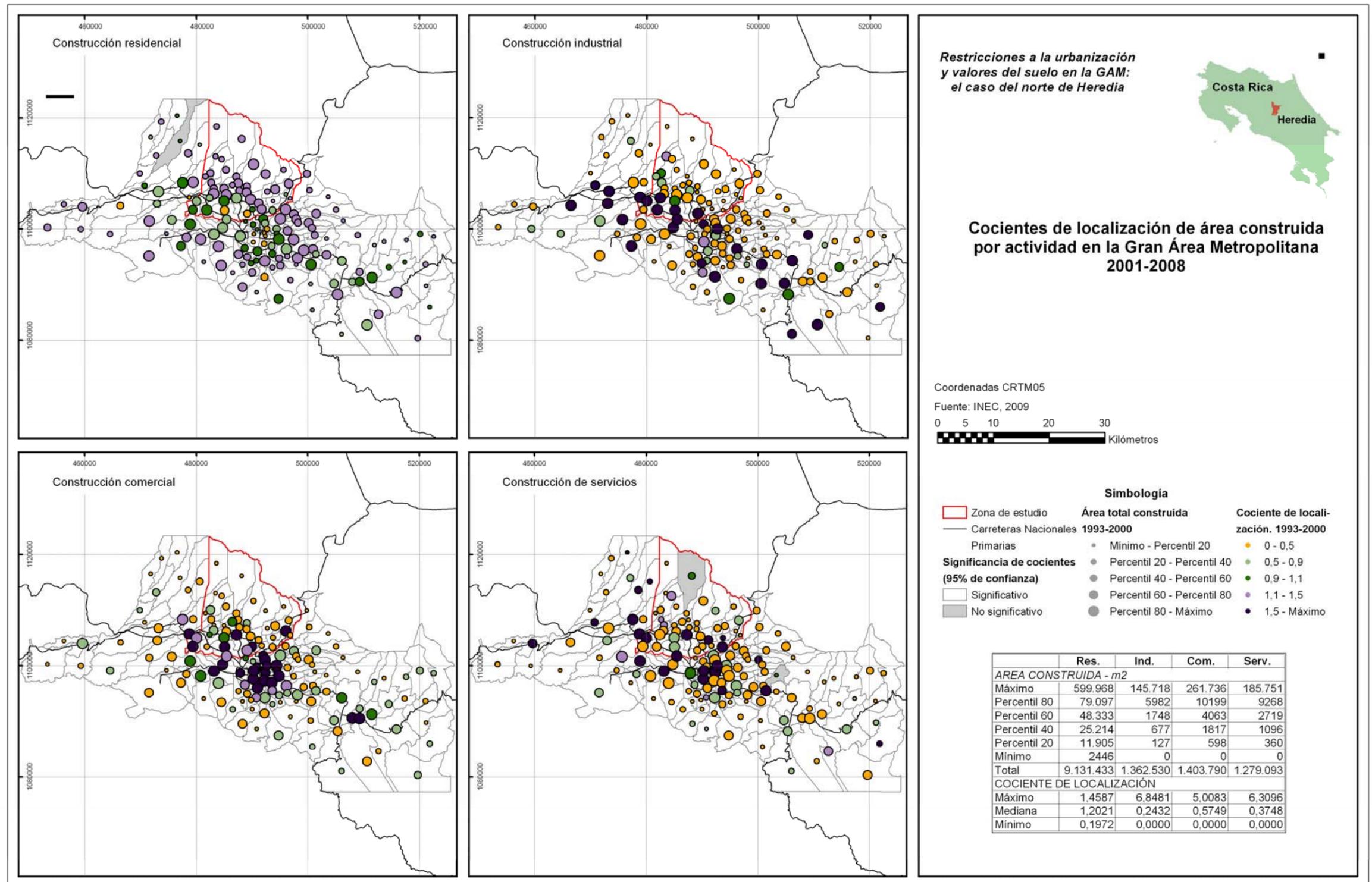
Fuente: INEC, 2009

Figura 2. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 1993-2008

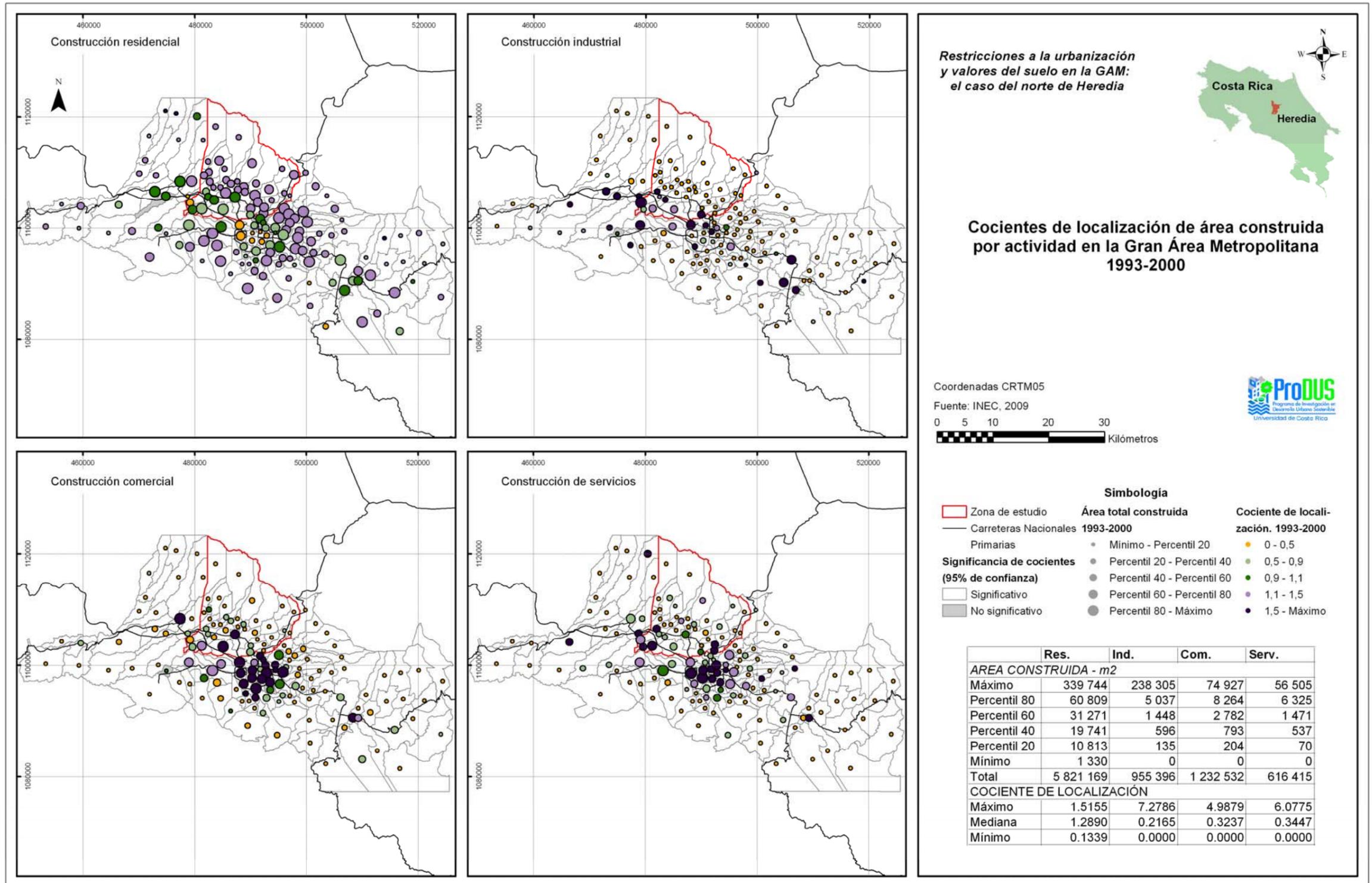


Fuente: INEC, 2009

Mapa 1. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 2001-2008



Mapa 2. Cocientes de localización de área construida por actividad para distritos de la Gran Área Metropolitana, 1993-2000



Los cocientes de localización son una forma sencilla e intuitiva de detectar concentraciones de actividad. Sin embargo, tradicionalmente se han utilizado sin verificación estadística de su validez (Moineddin et al., 2003; Guimarães et al., 2009). Como forma de suplir esta deficiencia, se han estimado intervalos de confianza para los cocientes de localización calculados siguiendo la propuesta de Moineddin et al. (2003). Este enfoque permite cierta verificación empírica de los resultados aunque, como bien dicen Guimarães et al. (2009), no provee una base teórica para el indicador⁷. En el análisis que se presenta, se busca detectar los intervalos de confianza que incluyen 1 (es decir, los distritos cuya concentración de la expansión de la actividad no son diferentes de la media regional).

Utilizando la variable área de construcción (que, como se dijo, representa la expansión de las actividades en los distritos de la GAM), se estimaron cocientes de localización para los periodos 1993-2000 y 2001-2008. Se definieron cinco categorías de actividad: residencial (correspondiente a viviendas y apartamentos/condominios), comercio (locales comerciales y gasolineras), de servicios (restaurantes y hotelería, oficinas, y servicios sociales públicos y privados), industrial (industrias, ingenios y bodegas) y agropecuario (infraestructura). Los mapas 1 y 2 y las figuras 1y 2 muestran los resultados para las categorías urbanas.

Resulta evidente, al comparar los coeficientes de localización para cuatro actividades (estimados en términos de área construida, es decir, de dónde se está expandiendo cada actividad), el patrón de cada uno de ellos. Las zonas residenciales en expansión se encuentran en los bordes de las ciudades: La Unión, Alajuelita y Aserrí (estas dos últimas que concentran población de bajos ingresos y muy poca actividad económica, razón por la cual en parte concentran nueva actividad residencial: por ausencia de otras opciones). En Cartago, la ciudad se expande hacia los cantones rurales del Este: Alvarado, Oreamuno y Paraíso. Patrón similar muestra Alajuela: concentración de la expansión residencial en los cantones rurales de Poás y Atenas.

Es posible ver que la construcción residencial ocurre en prácticamente toda la región – los cocientes de localización están entre 1 y 1,5 para la mayoría de distritos en ambos periodos, evidencia de relativamente poca concentración. Hay algunos pocos distritos con cocientes de actividad residencial menores a 0,5 pero no porque haya ausencia de construcción residencial sino porque otras actividades tienen porcentajes particularmente altos. Para otras actividades urbanas, es evidente la concentración de la expansión de sus actividades: la mayoría de cocientes están por debajo de 1 (muy poca actividad) con algunos distritos con valores muy por encima de 2 (los valores máximos se alcanzan en industria y comercio, con algunos distritos en ambos periodos mayores a 6, que implican concentraciones muy altas).

En cuanto a Heredia, solo el cantón Central y Belén presentan coeficientes de localización residencial menores a 1 – menor concentración de nueva área construida residencial que la región (característica que comparte con otras centralidades como Alajuela y San José). Todos los cantones al norte de Heredia presentan fuerte concentración de nuevas construcciones residenciales: Santa Bárbara, Barva, San Rafael y San Isidro.

⁷ Guimarães et al. (2009) crean dicha fundamentación a partir del modelo de Elisson y Glaeser (1997), que interpreta concentraciones como diferencia con respecto a una distribución aleatoria (como los dardos en una diana) antes que uniforme. Las suposiciones subyacentes a modelos de economía urbana, en cambio, incluyen isotropía del espacio – y este supuesto se relaja modelando los factores que modifican el espacio. Una distribución aleatoria no tiene justificación en el modelo de ciudad monocéntrica (Alonso-Mills-Muth) ni en el modelo de lugares centrales.

La expansión de la actividad industrial en la GAM se encuentra claramente concentrada en Alajuela (zona industrial de El Coyoil-Ciruelas), Belén, Heredia y Flores, y Cartago (zona industrial de Coris). Esta concentración se explica por las fuertes regulaciones regionales – Reglamento de Zonas Industriales de la GAM (INVU, 1985) – y su coordinación con provisión selectiva de infraestructura. En particular, las líneas de alta tensión y subestaciones para usos industriales sirven esencialmente solo las zonas industriales designadas. Sumado a ello, las zonas industriales fueron definidas en parajes originalmente periféricos, donde existía suficiente espacio para la instalación de nuevas industrias manufactureras o relocalización de existentes. La zona industrial de Belén-Flores-Heredia es actualmente la más importante de la región, aunque está sumamente congestionada, por lo cual el desarrollo tiende a redirigirse sobre todo hacia El Coyoil de Alajuela (porque ambas son más accesibles que Cartago al aeropuerto Juan Santamaría, clave para la industria exportadora de alta tecnología).

Las actividades de comercio y servicios están fuertemente concentradas en el centro de la región, con San José presentando coeficientes de localización altos (mayores a 1,5). Es interesante resaltar que la actividad comercial tiende a expandirse hacia el Oeste de San José – en Heredia, Escazú y, en menor medida, Santa Ana; en cambio, los servicios se concentran al Este (Curridabat, Montes de Oca, Goicoechea) y el cantón de Belén. En cuanto a la zona de estudio, Heredia muestra una clara concentración de la nueva actividad comercial regional. Todos los otros cantones tienen concentraciones de nuevas construcciones comerciales por debajo de la media regional. En servicios, la actividad se concentra en Belén y Santo Domingo (fuertemente) y Flores (moderadamente), probablemente asociado al desarrollo de oficinas para exportación de servicios en las zonas francas de estos cantones.

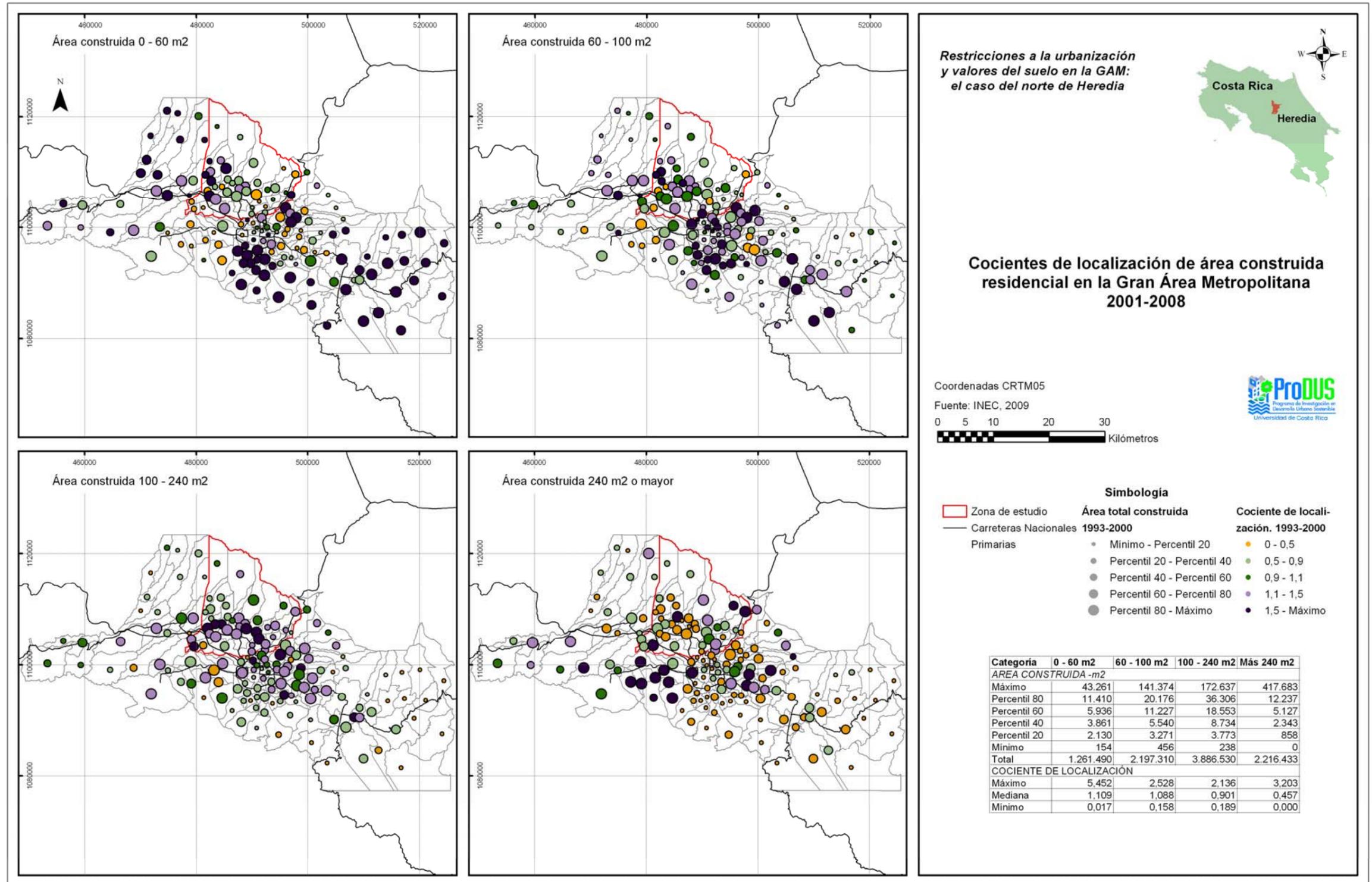
1.4. Expansión residencial en la Gran Área Metropolitana y Heredia

Como se dijo en la parte 1.3 y ha sido ampliamente documentado (e.g. Román, 2008; Pérez, 2010), la abrumadora mayoría de la actividad constructiva en Costa Rica y en la región metropolitana de San José corresponde a usos residenciales: hasta un 70% del área construida del país es residencial y de esta, la mayoría corresponde a viviendas individuales (Román, 2008). Para la GAM, entre 1984 y 2008, el porcentaje de viviendas individuales con respecto al total de actividad constructiva osciló entre un 65 y 75% (Pujol et al., 2009).

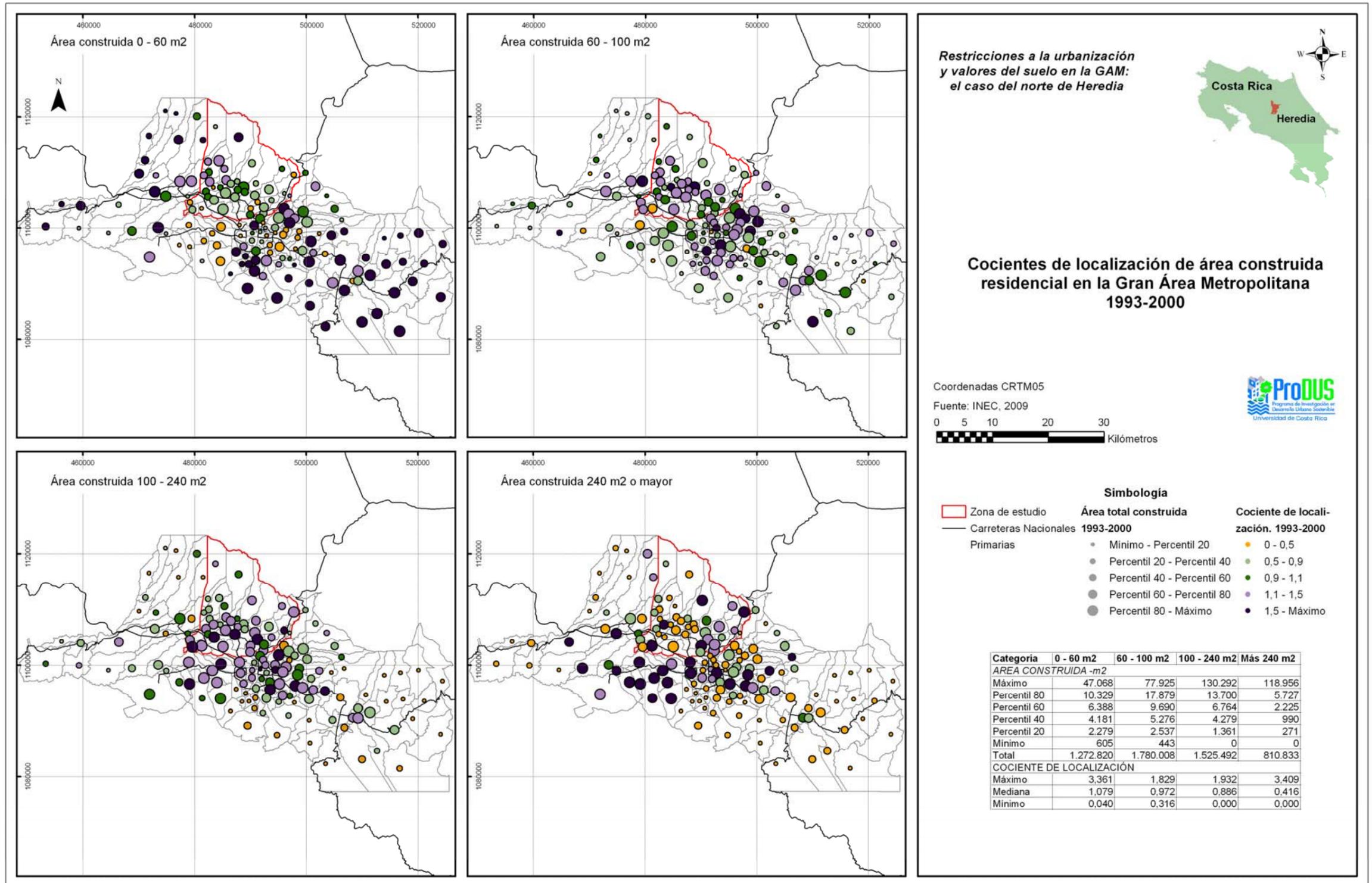
En un esfuerzo por comprender la distribución tipológica de este desarrollo, se han categorizado los permisos de construcción de acuerdo con el periodo de construcción (1993-2000 y 2001-2008) y el rango de área de la vivienda. Otras tipologías de vivienda que han sido exploradas en otras ocasiones – por ejemplo viviendas individuales vs. apartamentos (Pérez, 2010) – no fueron tomadas en consideración porque la gran mayoría de área corresponde, aún hoy, a viviendas individuales. Una vez obtenidas estas categorías, se agregó para cada una el área total construida por distrito y sobre la base de esta variable, se calcularon (separadamente) cocientes de localización residencial para 1998-2000 y 2001-2008.

Durante 2001-2008, las viviendas de mayor tamaño se concentraron al oeste de San José en Escazú y Santa Ana, en La Garita de Alajuela y en algunos distritos al norte de San Isidro y San Rafael, así como en Sánchez de Curridabat y el norte de La Unión. Algunas de estas zonas –

Mapa 3. Cocientes de localización de área construida residencial por tipo de residencia para distritos de la Gran Área Metropolitana, 2001-2008



Mapa 4. Cocientes de localización de área construida residencial por tipo de residencia para distritos de la Gran Área Metropolitana, 1993-2000



notablemente Sánchez en Curridabat y Escazú-Santa Ana – han sido señalados como concentraciones de altos ingresos donde además se están desarrollando condominios residenciales (típicamente urbanizaciones cerradas) (Pujol et al., 2011). En cambio, la expansión de viviendas grandes (áreas mayores a 240 m²) al norte de Heredia no parece haberse realizado a costa de la diversidad en la estructura social (tampoco es un fenómeno muy novedoso: también existe una concentración importante en el periodo 1993-2000; véase el mapa 4).

Contrario a lo que cabría esperar, las viviendas más pequeñas no se concentran en los lugares más centrales como predice la teoría de localización residencial (sobre la teoría de Alonso-Mills-Muth, Brueckner, 1987; para una exploración de la relación entre distancia al centro y tamaño de vivienda en la región, véase Pérez, 2010). La construcción de este tipo de viviendas en 2001-2008 se concentró en Alajuelita-Desamparados, como probable expansión de los desarrollos de interés social de finales de la década de 1980, y al norte de Alajuela y las zonas rurales de Cartago. Estas expansiones reflejan la construcción de vivienda rural en las periferias de la región, fuertemente sugiriendo la superposición de dos patrones: por una parte, la dinámica urbana, que incluye las viviendas pequeñas en localizaciones accesibles (en Alajuelita y Desamparados pero también en los centros de San José y Heredia – como se puede ver de los cocientes de localización de la categoría 60-100 m²) y las viviendas amplias en las periferias – e.g. el norte de Heredia. Paralelamente, la población rural de la región (muchos de cuyos habitantes trabajan en actividades de comercio, industria o servicios en los centros urbanos) se expande y demanda vivienda pero sus ingresos reducidos implican terrenos pequeños. Ambos están relacionados con la decisión deliberada, por parte del Estado, de no otorgar bonos de vivienda donde el valor del suelo sea muy alto.

Finalmente, puede comprobarse un cambio en las tendencias constructivas: el área de viviendas pequeñas (0-60 m²) para de 47 mil m² (1993-2000) a 43 mil m² (2001-2008) en ausencia de intervenciones estatales para proveer vivienda social en la región (véase Pujol et al., 2009); las viviendas entre 60 y 100 m² aumentan su área construida total al casi doble (78 mil m² en 1993-2000, 141 mil m² en 2001-2008), y las viviendas muy grandes pasan de 119 mil a 418 mil m², un aumento de tres y media veces del área construida (el aumento para la categoría 100 a 240 m² fue más modesto, de 130 a 173 mil m²).

Esta tendencia corrobora la tesis de Román (2008), que atribuye el crecimiento del sector construcción parcialmente a aumentos en los ingresos de los hogares costarricenses – al aumentar el ingreso, además de construirse más vivienda, el modelo de localización predice la adquisición de viviendas más grandes. Pero también ejemplifica una realidad peligrosa: la exclusión de amplios sectores de la sociedad del mercado inmobiliario (que es, a su vez, consecuencia de una desigualdad creciente reflejada por una tendencia hacia mayores índices de Gini; véase por ejemplo Programa Estado de la Nación, 2010). Si bien es cierto es posible que esta exclusión se haya visto mitigada por realidades demográficas (véase al respecto Pujol et al., 2009), la demanda insatisfecha también ha seguido acumulándose y puede representar un problema grave a relativamente corto plazo para la región.

En síntesis, los patrones de rangos de tamaño de vivienda reflejan la estructura socioeconómica de la ciudad. Como corolario, en la medida en que haya espacio disponible, cabría esperar que los patrones de inclusión y exclusión social de la región se mantengan (aunque esta proposición, de que existe el espacio para mantener las formas de expansión actuales de la ciudad, es cada vez menos válida).

1.5. Patrones de uso del suelo en el norte de Heredia, 2008

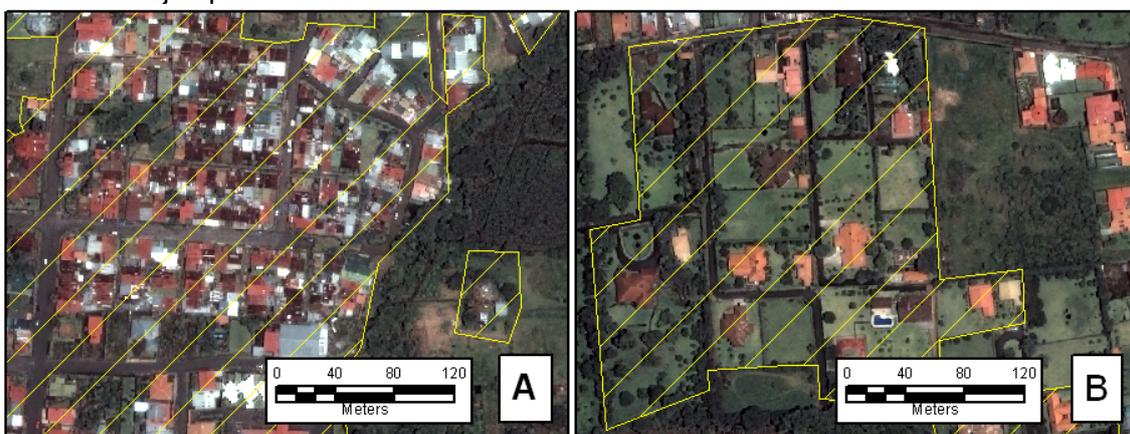
Se creó un mapa de uso del suelo para el norte de Heredia correspondiente al año 2008. El mapa de uso del suelo fue generado mediante interpretación visual de una imagen satelital de alta resolución tomada por el satélite QuickBird (DigitalGlobe, 2009) el 8 de septiembre de 2008. La imagen incluye cuatro bandas: azul (frecuencia de 450 - 520 nm), verde (520 - 600 nm), rojo (630 - 690 nm) e infrarojo cercano (760 - 900 nm); se recibió una imagen ajustada usando una capa pancromática, resultando en celdas de 60 cm. de lado.

La generación del uso del suelo se hizo digitalizando polígonos sobre áreas que se interpretan como de uso del suelo uniforme en la imagen. Esta digitalización se realizó a una escala de 1:6000⁸, de modo que la interpretación no se hiciera con una imagen excesivamente distorsionada. Asimismo, el uso de una escala constante uniformiza la definición de bordes entre distintos usos.

Se utilizaron ocho clases de usos del suelo: usos urbanos (uso urbano y uso residencial de altos ingresos), usos agropecuarios (pastos y árboles dispersos, y cultivos), sistemas naturales (cobertura arbórea, cuerpos de agua) y otros (nubes y suelos desnudos). Las figuras 3 a 6 muestran ejemplos típicos:

- Usos urbanos: Corresponde a áreas en las cuales existe infraestructura que probablemente sea utilizada para actividades urbanas (es decir, comercio, servicios, industria o albergue de personas). Existen dos categorías: uso urbano (figura 3, recuadro A), que son áreas relativamente continuas y densas de construcciones, y uso residencial de altos ingresos (figura 3, recuadro B). Este corresponde a lotes amplios y ajardinados con viviendas grandes, probablemente habitadas por hogares de ingresos relativamente altos y generalmente ubicadas fuera de los centros urbanos propiamente.

Figura 3. Ejemplos de usos urbanos



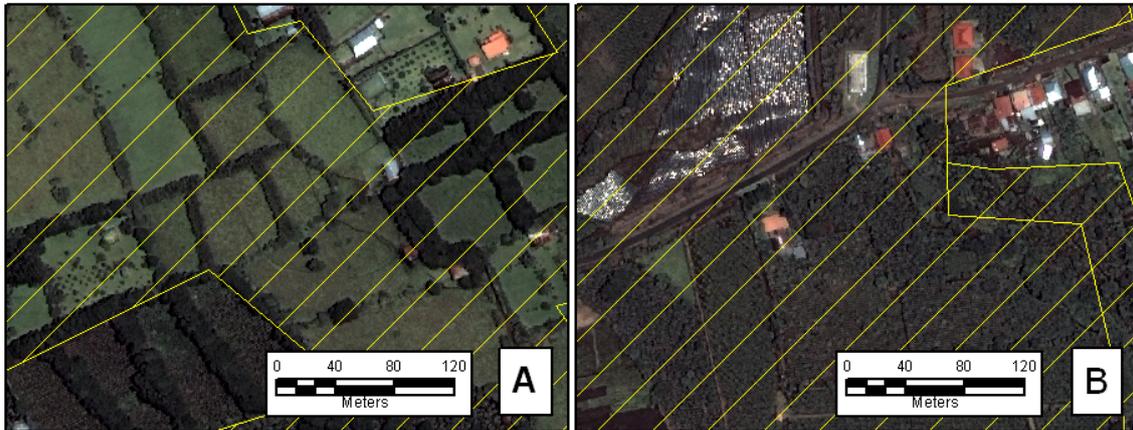
Fuente: DigitalGlobe, 2009

- Usos agropecuarios: Incluye dos categorías: pastos y árboles dispersos (figura 4, recuadro A), que corresponden a lecherías o predios sin uso en los cuales se ha permitido el crecimiento de pasto, y cultivos (figura 4, recuadro B). Los cultivos predominantemente corresponden a plantaciones de café en distintos estados (e.g.

⁸ De acuerdo con la regla tradicional, el píxel de 60 cm. de la imagen permite la generación de mapas de hasta una escala de 1:6000 (Jacobsen, 2002).

cafetos crecidos o cafetales podados) aunque también hay fincas de hortalizas, reconocibles por el reflejo de las bolsas con que se protegen las plantas de insectos y otros.

Figura 4. Ejemplos de usos agropecuarios



Fuente: DigitalGlobe, 2009

- **Sistemas naturales:** Compuesto principalmente por cobertura arbórea (aunque esta no corresponde necesariamente con ecosistemas funcionales; figura 5, recuadro A); se incluye también la categoría cuerpos de agua⁹, que se refiere solamente a espejos de agua (cuando el agua es directamente visible en la imagen; figura 5, recuadro B). Esta categoría, por la razón señalada, no incluye ríos (el agua en los ríos generalmente está cubierta por los árboles que crecen junto a ellos).

Figura 5. Ejemplos de sistemas naturales



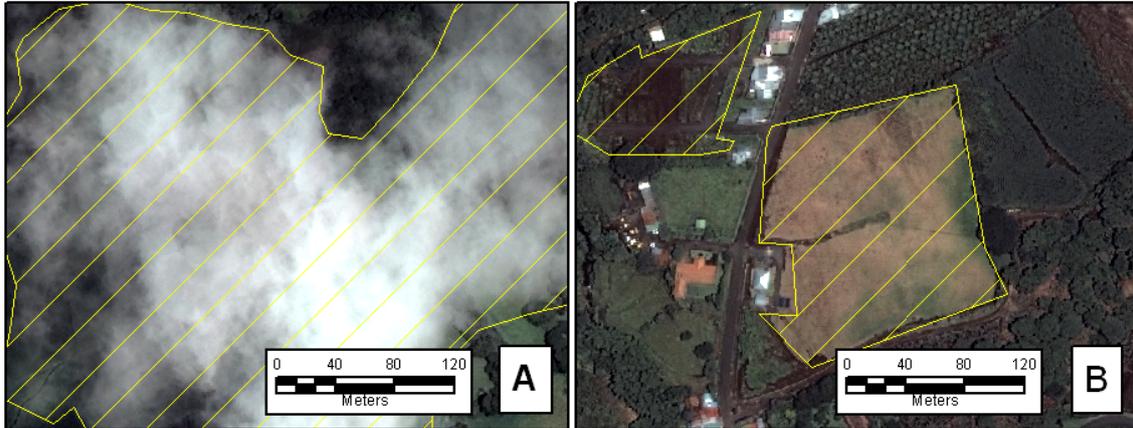
Fuente: DigitalGlobe, 2009

- **Otros:** Se refiere a nubes (áreas para las cuales no es posible determinar el uso del suelo; figura 6, recuadro A) y a suelos desnudos (figura 6, recuadro B). Es muy posible que el suelo desnudo corresponda a (a) construcciones, es decir, suelo en transición de rural a urbano, (b) canteras o (c) suelo agrícola que está siendo preparado para cultivos – aunque esto solo puede inferirse del contexto. Sin embargo, tampoco puede excluirse

⁹ Los cuerpos de agua identificados no corresponden a acumulaciones naturales de agua

que sean afloramientos rocosos naturales en los cañones de los ríos – especialmente al sur, por lo cual no se han clasificado como uso del suelo.

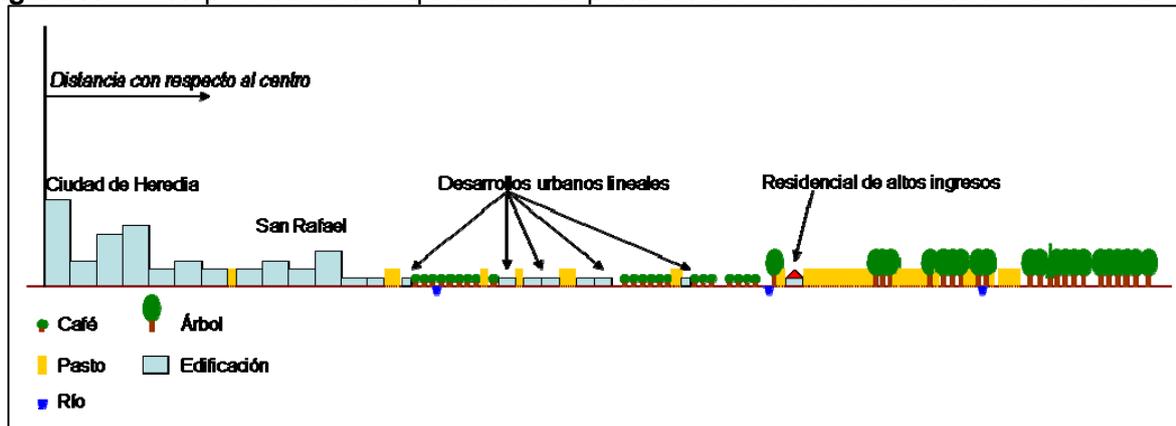
Figura 6. Ejemplos de otros usos



Fuente: DigitalGlobe, 2009

El patrón de uso del suelo muestra una distribución similar a otras zonas de la región, controlada por la posición con respecto al centro y el relieve. Trazando una línea imaginaria desde el centro de la ciudad, las zonas más cercanas corresponden a los desarrollos urbanos más densos (uso urbano) con algunos espacios baldíos ocupados por pastos y árboles dispersos – y en algunos casos, por cafetales. Seguidamente, existe un área ocupada por básicamente cafetales con desarrollos urbanos lineales a lo largo de los caminos rurales existentes y algunas zonas residenciales de altos ingresos. En esta franja, hay algunos pastos dispersos. La poca cobertura arbórea existente corresponde a sistemas riparios a lo largo de algunos ríos.

Figura 7. Representación esquemática de perfil del uso del suelo en el norte de Heredia



Más allá de la franja de café, cuyo límite coincide aproximadamente con la cota de elevación 1400-1600 msnm (que de acuerdo con ICAFE es el límite de altura por debajo del cual se cultivan la mayoría del café en esta subregión; ICAFE, 2011), se extienden pastizales dedicados a la producción lechera. Estos se combinan con algunos parches boscosos, que aumentan en área y densidad conforme aumenta la distancia con respecto al centro. Los principales bosques están en el borde Noreste de la región y parcialmente corresponden al límite Suroeste del Parque Nacional Braulio Carrillo.

1.6. Cambio de uso del suelo urbano, 1989-2008

Se ha evaluado el cambio de uso del suelo urbano para 1998-2008 y 1989-1998. La evolución del uso de suelo urbano se realiza mediante (a) comparación del mapa de uso del suelo 2008 con la fotografía aérea de la Comisión Terra (CENIGA, 1998) y (b) comparación del mapa de uso urbano de 1998 con el mapa de uso del suelo generado por JICA en 1989 (JICA, 1989). Estas evaluaciones, al utilizar mapas generados a partir de fuentes, y en particular a escalas, diferentes presentan limitaciones en cuanto a su interpretación.

La determinación del valor de una variable a partir de información incompleta puede incurrir en dos tipos de errores: falsos positivos o errores tipo I (aceptar como diferente lo que es igual) y falsos negativos o errores tipo II (aceptar como igual lo que es diferente). La estrategia que se ha planteado para la evaluación del cambio de uso del suelo tiende a reducir el ambos tipos de errores al restringir las posibilidades teóricas de cambio con base en conocimiento cualitativo de la urbanización en esta zona:

- Se tomó la mancha urbana de 2008, según fue extraída de la imagen satelital de Quickbird. La mancha seleccionada solamente incluye el uso urbano (y no el uso residencial de altos ingresos)
- Esta mancha urbana fue superpuesta sobre la fotografía aérea de 1998. Se dividió la mancha de 2008 interpretando el uso del suelo según si era pasto, cobertura arbórea, cultivos o urbano en 1998. Se considera como cambio de uso del suelo si en 1998 no era urbano.
- Para el cambio de uso del suelo 1989-1998, se extrajo solamente el área que era urbana tanto en 1998 como en 2008. Esta área fue intersecada con el mapa de uso urbano/no urbano de 1989 para distinguir qué corresponde a cambio de uso del suelo (urbano en 1998 y no urbano en 1989).
- Se reduce el error tipo I al restringir el análisis solamente al uso urbano de 2008 (no incluir residencial de altos ingresos, que es muy difícil de identificar en las imágenes de 1998). Se reduce el error tipo II al eliminar, a través de una suposición metodológica, un fenómeno muy poco probable: la contraurbanización (pues al restringir el análisis al uso urbano de 2008, se elimina la posibilidad de que un uso urbano deje de serlo¹⁰)

Otras limitaciones metodológicas incluyen:

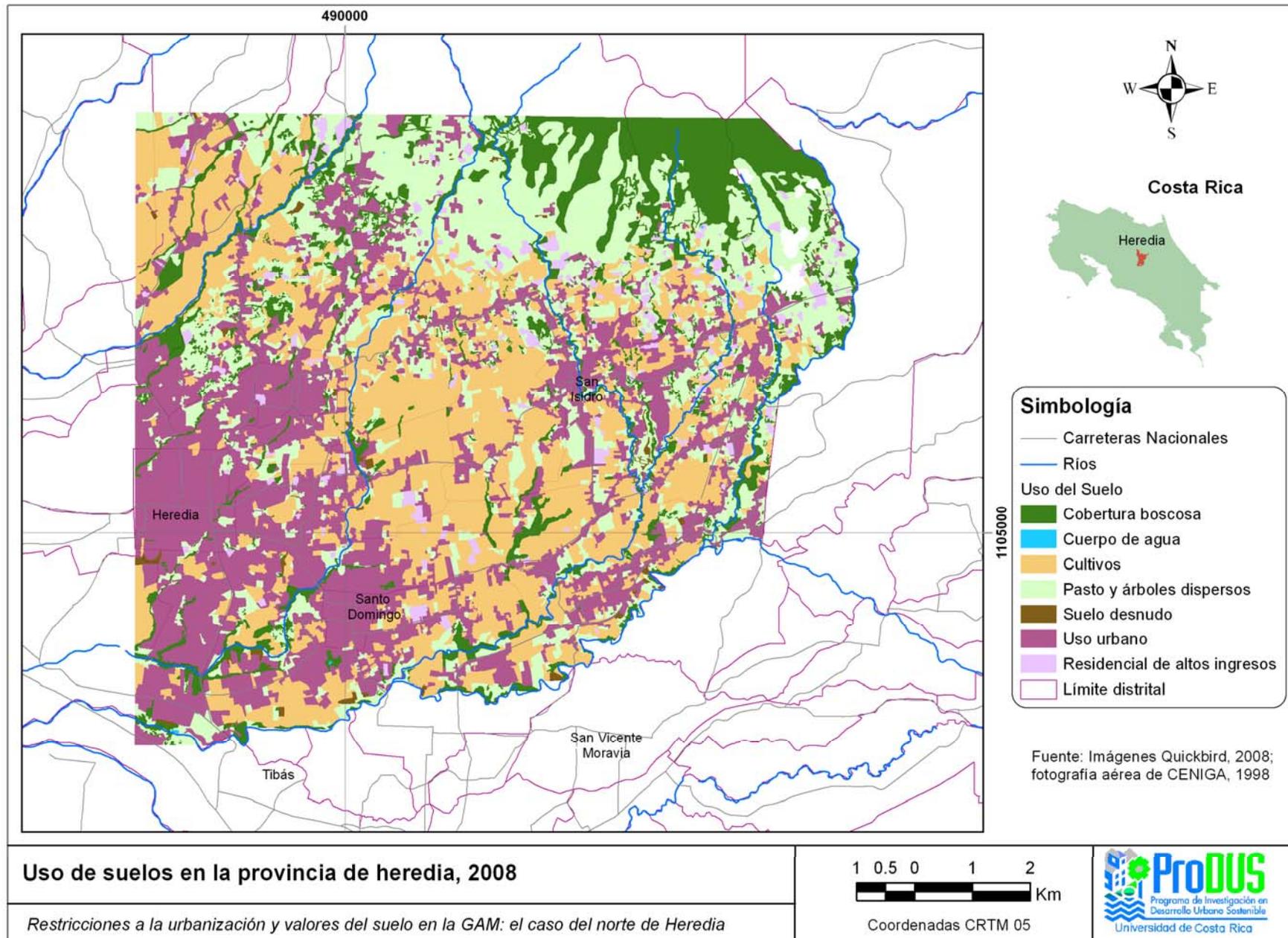
- La clasificación de uso del suelo es consistente para 2008 y para 1998 (las categorías son similares y las reglas de interpretación, similares) pero el uso del suelo de 1989 fue generado bajo otro sistema.

¹⁰ Este cambio es teóricamente posible pero en la práctica no ocurre. Si en 1998 se detectara algo como urbano que no lo es en 2008, en realidad se está malinterpretando el borde en 1998 (año para el cual la imagen es de menor resolución), i.e. se sobreestima el uso urbano de 1998 y, por ello, subestima el cambio de uso - un error tipo II.



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 5. Uso del suelo en el norte de Heredia, 2008





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

- La imagen de 2008 tiene una resolución mayor que la fotografía aérea de 1998, lo cual produce una tendencia a sobreestimar el área urbana en el primer año (subestimar el cambio de uso del suelo).
- El análisis es solamente válido para la intersección de la cobertura conjunta de los tres mapas empleados. Específicamente, dada la extensión mayor del mapa desarrollado por el JICA (1989), el área válida corresponde a la cobertura conjunta entre el uso urbano de 2008 y la existencia de fotografías aéreas en 1998.

Por otra parte, el mapa de cambio de uso es lo más cercano a un análisis consistente que fue posible construir utilizando al máximo las ventajas de cada fuente de datos: la mejor resolución de la imagen satelital de 2008, la mayor cobertura del uso del suelo de 1989 y la existencia de una fotografía aérea intermedia que puede ser clasificada bajo los mismos criterios que el análisis de 2008.

El mapa 6 muestra los resultados del análisis con el uso del suelo de 2008 complementando los usos no urbanos. Es posible ver cómo los centros urbanos principales de la zona analizada (Heredia, Santo Domingo y las poblaciones más pequeñas de San Pablo, San Rafael y San Isidro) ya conformaban núcleos consolidados de uso urbano. Asimismo, se notan concentraciones en San Miguel de Santo Domingo hacia el sureste, cerca de la ruta nacional 32 (entonces recién inaugurada) y desarrollos lineales a lo largo de los caminos rurales.

El crecimiento urbano entre 1989 y 1998 puede dividirse entre la urbanización de grandes propiedades al sur de Heredia centro, la expansión orgánica de San Rafael (y en alguna medida, de Santo Domingo) y el desarrollo a lo largo de los caminos rurales (algo supuestamente característico de la zona, cf. Delgado, 2002, y más generalmente del fraccionamiento de propiedades en zonas cafetaleras; véase Hall, 1976). Este desarrollo fue particularmente importante hacia el sur de San Miguel de Santo Domingo, en el área entre el centro de ese distrito y la ruta nacional 32 – algo perfectamente consistente con la accesibilidad adicional a San José que obtuvo esa zona con la creación de la carretera a Limón.

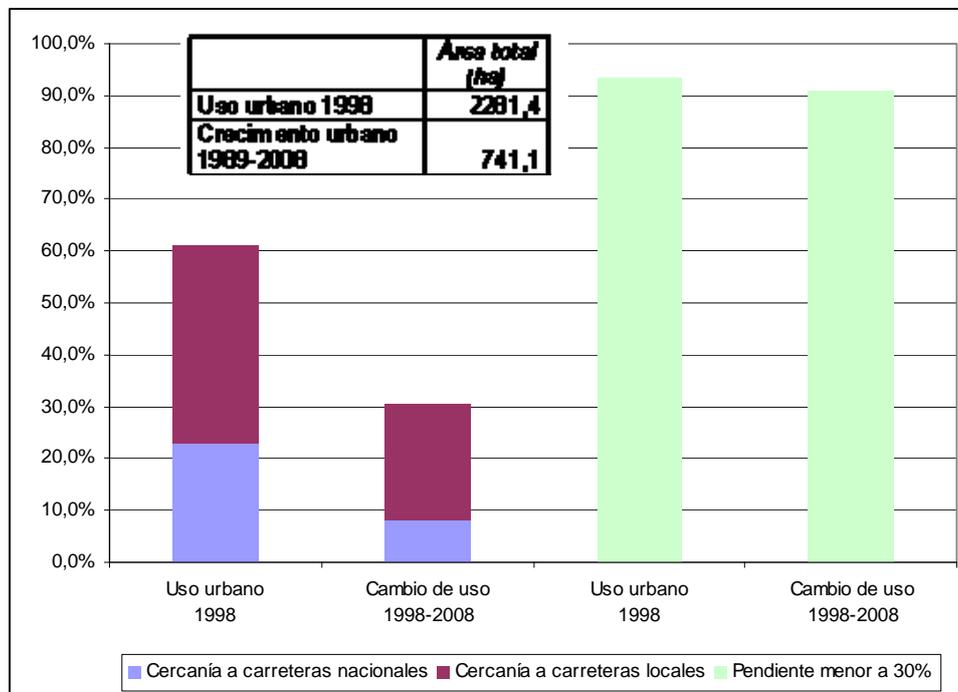
Para el periodo 1998-2008, la expansión incluye áreas mayores y en carreteras de menor importancia, relativamente alejadas de los usos urbanos existentes. También hubo expansiones importantes en tierras hasta entonces no desarrolladas al sur de Heredia y San Rafael. En paralelo, el patrón de desarrollo a lo largo de las vías locales continuó, aunque dadas las amplias áreas urbanizadas en otros sitios, representa un porcentaje menor del fenómeno de crecimiento urbano. Desgraciadamente, la ausencia de información para 1998 impide analizar el desarrollo urbano al Este de San Isidro de Heredia. Pero es muy posible que gran parte de las áreas urbanas de este cantón correspondan a urbanizaciones posteriores a 1998, lo cual sería una grave señal de alerta sobre las actuales tendencias de expansión urbana en la zona de estudio.

1.7. Análisis preliminar de determinantes de la urbanización en el norte de Heredia

Las 741 ha. que cambiaron a uso urbano en el periodo 1998-2008 en la zona de estudio han sido clasificadas de acuerdo con su proximidad al sistema de carreteras, la pendiente (figura 8) y el uso del suelo que existía en 1998.

El primer análisis corresponde al porcentaje de urbanización ocurrido cerca del sistema de carreteras. Dado que existe una endogeneidad reconocida entre el desarrollo urbano (y su manifestación en cambios de cobertura del suelo detectados por sensores remotos) y el crecimiento de la red vial (Chomitz y Gray, 1996), se utilizó la proximidad a la red vial reportada en la cartografía nacional escala 1:50 000, que es del año 1996. Así, se busca explorar si en efecto el desarrollo lineal es producto de la proximidad al sistema vial existente o si el relieve incentiva la construcción de una red vial poco redundante y del patrón de desarrollo.

Figura 8. Porcentaje de crecimiento urbano según proximidad al sistema de vías y pendiente del terreno

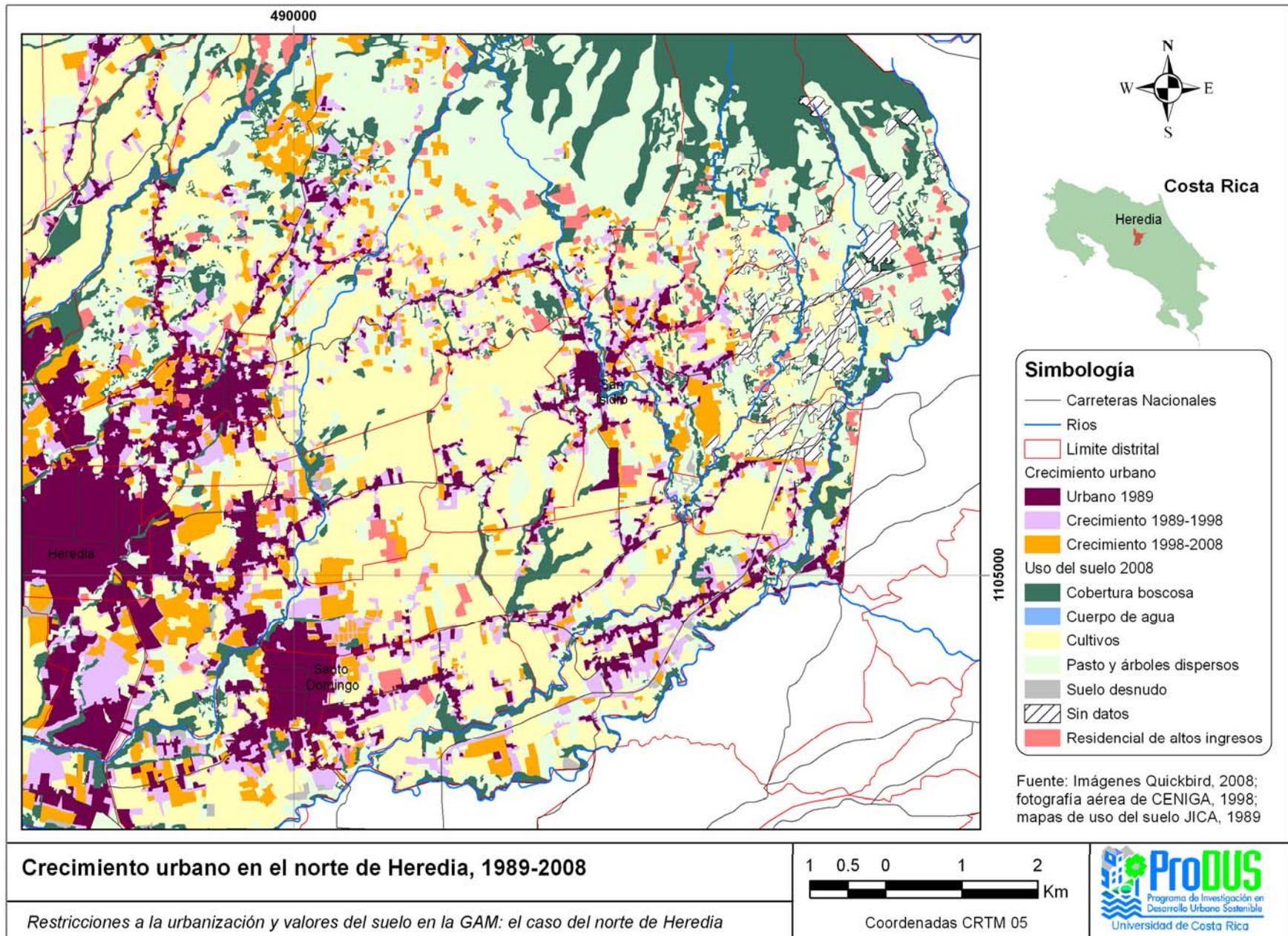


Cercanía a red vial: área urbanizada en los 50 m. adyacentes a red de carreteras

Fuente: DigitalGlobe, 2009; CENIGA, 1998

Para el periodo 1998-2008, parece evidente que ha existido un cambio en el patrón de crecimiento urbano o que la hipótesis que relaciona los patrones de desarrollo con la red de caminos rurales (e.g. en Delgado, 2002 o Monge, 1986) es equivocada. Como se muestra en la figura 8, solo el 30% del cambio de uso del suelo a urbano está a menos de 50 m. de la vialidad existente en 1996. Incluso tomando en cuenta que algunas calles no forman parte de la cartografía (por razones de escala), este porcentaje es muy bajo: el 60% del uso urbano en 1998 estaba cerca de la vialidad existente. No es posible determinar concluyentemente cuál opción es verdadera porque el periodo 1998-2008 fue de expansión extraordinaria y es posible que haya desbordado las zonas disponibles para crecimiento cerca del sistema de caminos existente o que las transformaciones del mercado inmobiliario hayan conducido a nuevos tipos

Mapa 6. Cambio de uso del suelo en el norte de Heredia, 1989-2008





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

de desarrollo. Por otra parte, el cambio de uso del suelo 1989-1998 no es necesariamente consistente (por las limitaciones señaladas), por lo cual no es confiable la cuantificación de áreas para ese periodo – que podría servir como grupo de control para determinar si en efecto existió un cambio en el patrón de crecimiento para este segundo periodo.

En cuanto a la pendiente, los nuevos desarrollos urbanos se ubican en zonas ligeramente más quebradas pero tanto el uso urbano en 1998 como el crecimiento en la última década correspondieron abrumadoramente a zonas planas (con pendientes menores al 30%) – véase figura 8.

El cuadro 4 muestra una realidad conocida: que la transformación más importante se da de cultivos (sobre todo de café) a uso urbano. Esto es producto de dos factores: primero, el uso predominante en la zona más cercana a la ciudad (como se vio en la sección 5) es el cultivo de café y otros productos. Segundo, se ha demostrado que es financieramente más rentable la urbanización que el cultivo de café (Garita, 1994). El segundo uso más urbanizado son los pastos, aunque es difícil distinguir si estos pastos son en efecto un uso del suelo (por ejemplo, ganadería de leche) o simplemente el resultado de abandonar cultivos no rentables. Finalmente, cabe resaltar que existe muy poca deforestación; no es de extrañar, dado que la región ha sido sujeto de intervención humana durante los últimos dos siglos, de modo que los únicos bosques existentes son sistemas riparios, en áreas poco urbanizables por su cercanía a los ríos y su pendiente, o están en áreas muy inaccesibles (e.g. los bosques al Noreste de la zona de estudio).

Cuadro 4. Uso del suelo en 1998 para áreas urbanizadas entre 1998 y 2008

Uso 1998	Área	
	ha	%
Cobertura arbórea	8,2	1,09%
Cultivos	420,5	56,08%
Pasto	248,2	33,10%
Suelo desnudo	64,6	8,62%
Sin datos	8,4	1,12%
Total	749,9	100,00%

Fuente: DigitalGlobe, 2009 y CENIGA, 1998



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Sección 2. Valores del suelo en el norte de Heredia

Esta sección describe la exploración de patrones de valores del suelo en la zona de estudio. Se divide en cuatro partes: primeramente, se discute el modelo básico de localización residencial que relaciona el valor del suelo con costos de transporte; seguidamente, se describen las fuentes de datos y el proceso de construcción de mapas de valores del suelo para varios años en el norte de Heredia. Una tercera parte analiza los resultados de la extrapolación de datos puntuales de valor del suelo a superficies continuas. Finalmente, en la cuarta parte, se estima la relación entre valor del suelo y movilidad, empleando los modelos de costo de transporte que se describen en la sección IV y otras variables subsidiarias (específicamente uso urbano y pendiente del terreno).

2.1. El valor del suelo en una ciudad monocéntrica

Los modelos de localización residencial buscan describir el proceso por el cual un agente económico – típicamente una familia – escoge una localización dentro de la ciudad para vivir. El modelo más exitoso que describe este fenómeno es el modelo de Alonso-Mills-Muth (Glaeser, 2008). Este modelo originalmente consistió en una extensión del modelo de rentas agrícolas del economista alemán Johann Heinrich Von Thünen (publicado en 1826 en el libro *El Estado Aislado*) postulado por William Alonso en su disertación doctoral (Alonso, 1964). Posteriormente, fue extendido por Mills (1967) y Muth (1969).

Siguiendo la exposición de Glaeser (2008: 18)¹¹, puede afirmarse que "el elemento teórico clave en la economía urbana es la idea de equilibrio espacial: no se pueden ganar rentas¹² cambiando localizaciones" residenciales. Suponiendo una ciudad en una llanura isotrópica con una población fija y un centro que concentra todos los trabajos (i.e. la demanda de transporte es desde cualquier sitio de la ciudad a este centro),

- Los habitantes de la ciudad maximizan la función: $\max_c U(C, L)$ donde C es el nivel de consumo de todos los bienes y servicios, excepto L (que es la cantidad de suelo/área de vivienda que el consumidor adquiere para satisfacer sus necesidades de albergue).
- $C = W - t(d) - r(d) \cdot L$, que es la restricción presupuestaria: W es el ingreso total del hogar, t(d) es una función de costos de transporte que depende de la distancia al centro y r(d) es una función que describe la renta del suelo, *que también es una función de la distancia al centro*.
- Así, la función de utilidad se convierte en: $\max_d U(W - t(d) - r(d) \cdot L)$, y derivando parcialmente con respecto a d e igualando a 0, se obtiene la condición de primer orden:

$$r'(d) = -t'(d) / L$$

¹¹ Traducción de los autores para este trabajo. Brueckner (1987) realiza una síntesis más formal del modelo Alonso-Mills-Muth.

¹² Se utilizan los términos valor del suelo y renta del suelo como sinónimos. En general, una localización estará ocupada por el mayor y mejor uso, esto es, el uso del suelo que pueda obtener la mayor utilidad de esa localización (dadas su restricción presupuestaria y costos/demanda de transporte). La renta del suelo es la disponibilidad a pagar de este uso por el suelo en la localización que ocupa, que maximiza no solo su propia rentabilidad sino que también representa la máxima rentabilidad asociada a esa localización.

- Intuitivamente, considérese un hogar cuyos habitantes viven lejos del centro tiene costos de transporte altos. Para que sus miembros acepten vivir, deben ser compensados (Brueckner, 1987). Bajo las condiciones supuestas y manteniendo constante L (el área demandada), esta compensación toma la forma de una renta del suelo más baja – manteniendo así el equilibrio espacial.

2.2. Patrones de valores del suelo en el norte de Heredia: metodología de estimación

La generación de mapas de valores del suelo se realizó con base en datos de hipotecas otorgadas por el Banco Nacional de Costa Rica entre 1998 y 2007. Para cada hipoteca, se estimó el valor del suelo como el valor total de la propiedad menos el valor de las construcciones. Este valor total del suelo se dividió entre el área total de la propiedad. Los valores del suelo por m² fueron geolocalizados asignando las coordenadas de la propiedad (con una incertidumbre de 250 m.); esta información se tomó de la página web del Registro de Bienes Inmuebles.

Cuadro 1. Cantidad de registros geolocalizados en la base de datos de hipotecas

Año	Municipio							Total
	Heredia	Barva	Santo Domingo	San Rafael	San Isidro	Belén	San Pablo	
1988	1							1
1991	1							1
1992	7						3	10
1993	6					1	4	11
1994	9		1	1	1			12
1995	8	1		3		1		13
1996	15	2	4	5	3	2	2	33
1997	37	4	12	6	3	3	5	70
1998	80	15	11	31	15	20	19	191
1999	28	12	5	16	5	7	4	77
2000	112	16	15	37	14	18	33	245
2001	174	35	32	37	28	16	68	390
2002	120	45	35	50	15	22	42	329
2003	173	45	42	44	24	24	25	377
2004	409	124	71	138	84	66	104	996
2005	372	120	88	81	61	48	73	843
2006	341	139	75	96	72	57	70	850
2007	478	193	114	196	103	59	142	1285
2008	173	72	46	72	48	23	45	479
Total	2544	823	551	813	476	367	639	6213

Los valores del suelo por m² se transformaron de colones a dólares estadounidenses corrientes con el tipo de cambio del día en que se registró la transacción. Posteriormente, fueron convertidos a dólares reales de 2008 con la inflación de Estados Unidos. Este procedimiento tiene el doble objetivo de no sobrevalorar los valores más antiguos (dadas las altas tasas históricas de inflación de los bienes de consumo en Costa Rica, que probablemente fueron más altas que la inflación en el mercado de bienes inmuebles) y reflejar la creciente importancia de la inversión extranjera durante la década del año 2000 – antes de los ajustes de la crisis internacional de septiembre de 2008. El cuadro 1 muestra la cantidad de registros localizados.

En total, se georeferenciaron datos de 6213 hipotecas en siete cantones de Heredia (para mayores detalles sobre las bases de datos, refiérase a Monge y Rojas, 2009; Alfaro y Navarro, 2009; Núñez y Salas, 2010).

A partir de las bases de datos georeferenciadas, se crearon mapas de valores del suelo continuos extrapolando los valores del suelo puntuales. Se crearon tres coberturas: una para el año 1998 (tomando todos los datos del periodo 1997-1999 y suponiendo que los cambios en el valor del suelo fueron menores en el tiempo cuando comparados a las diferencias en el espacio), otro para el año 2003 y un último mapa para 2007. Todas las coberturas fueron creadas con dólares estadounidenses constantes de 2008.

Las extrapolaciones se realizaron utilizando el programa ArcGIS 9.3 y el algoritmo que aplica la técnica de *kriging* (este método fue primero empleado por Núñez y Salas, 2010, a datos de la misma base pero ubicados en el cantón de Escazú). A partir de estas superficies continuas, se estimaron promedios por distrito utilizando las herramientas de estadísticas zonas de ArcGIS 9.3.

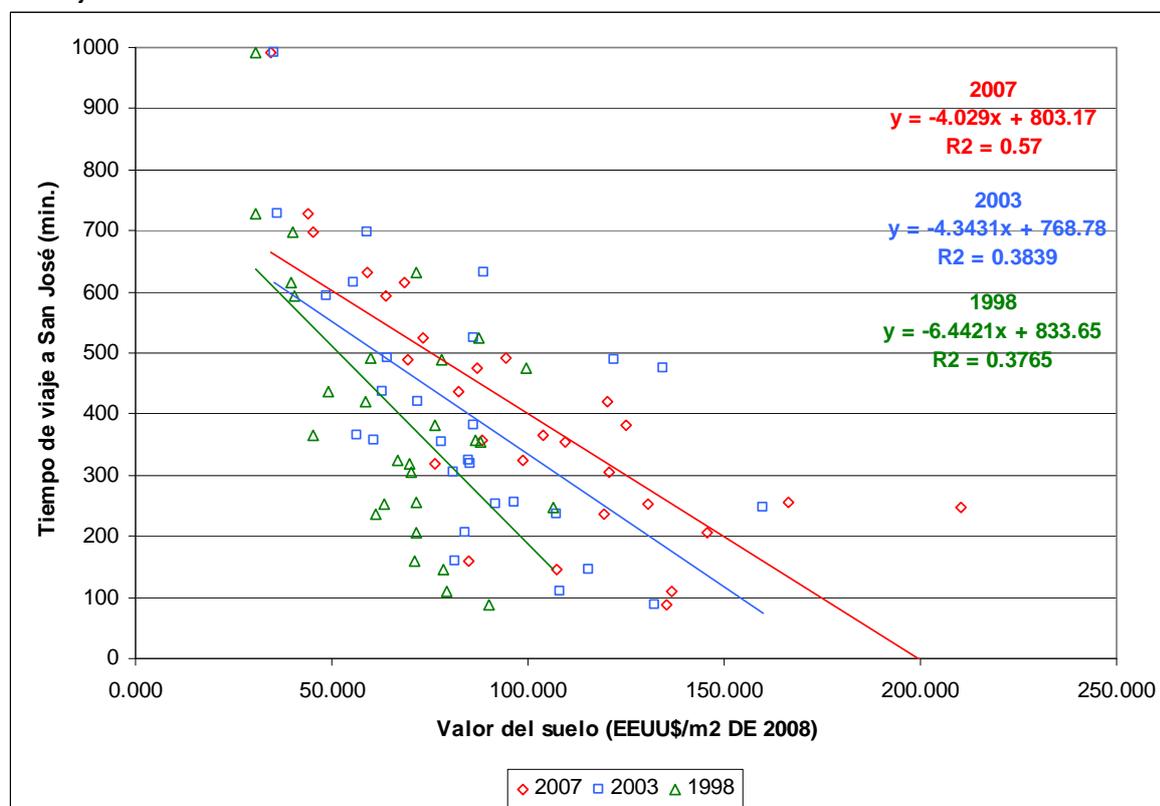
2.3. Patrones de valores del suelo en el norte de Heredia: análisis

Se resumen a continuación las principales características de los patrones de valor del suelo estimados y su evolución en el tiempo.

El mapa 1 muestra el valor por m² del suelo promedio por distrito para el año 2007. Como es de esperar, es el distrito primero de Heredia donde aparecen los valores mayores. Adicionalmente, algunos distritos inmediatamente al sur de Heredia (San Francisco y Ulloa del cantón de Heredia y Asunción de Belén) también tienen valores del suelo muy altos: en ellos hay una combinación de alta accesibilidad y una cantidad importante de hogares de altos ingresos. Todos ellos presentan valores del suelo mayores a 146 dólares por m². Un segundo grupo de distritos, con valores entre 112 y 146 dólares por m², incluye Santo Domingo y los distritos de San Vicente y Santa Rosa de ese cantón, así como San Pablo (al sureste de Heredia, alrededor de la ruta nacional 5) y los distritos de Mercedes de Heredia y San Joaquín de Flores inmediatamente al oeste (a lo largo de la ruta nacional 3), y Barva directamente al norte de Heredia centro. Finalmente, un tercer grupo (con valores promedio entre 76 y 112 dólares por m²) agrupa a las restantes cabeceras cantonales: San Rafael, San Isidro y Santa Bárbara, y los distritos de Santo Domingo ubicados en torno a la ruta nacional 32. Otros distritos presentan rentas del suelo decrecientes conforme aumenta su carácter rural (hacia el norte). La única excepción está compuesta por los distritos de San Antonio y Ribera de Belén. Existen dos posibles explicaciones para sus bajos valores: es posible que los criterios de valuación cambien si la agencia bancaria encargada de valorar hipotecas en Belén es diferente a la encargada de otras zonas de Heredia ó es también posible que las externalidades negativas de la actividad industrial hayan deprimido los valores del suelo a su alrededor.

La figura 1 muestra una visión de la relación entre tiempo de viaje a San José y el valor por metro cuadrado del suelo (refiérase a la definición de la variable TVSJ de la sección 4 para una definición exacta de la estimación de tiempos de viaje) para todos los distritos en los cantones de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael, San Isidro y San Pablo. Como puede verse en la figura, la pendiente ha disminuido de 1998 a 2003 pero es similar entre 2003 y 2008. Igualmente, las curvas se desplazan hacia la derecha, sugiriendo que ha existido una tendencia hacia mayores valores del suelo. Esto es poco sorprendente, dado el cambio de uso del suelo (hacia una mayor urbanización) que ha experimentado la región en esta década.

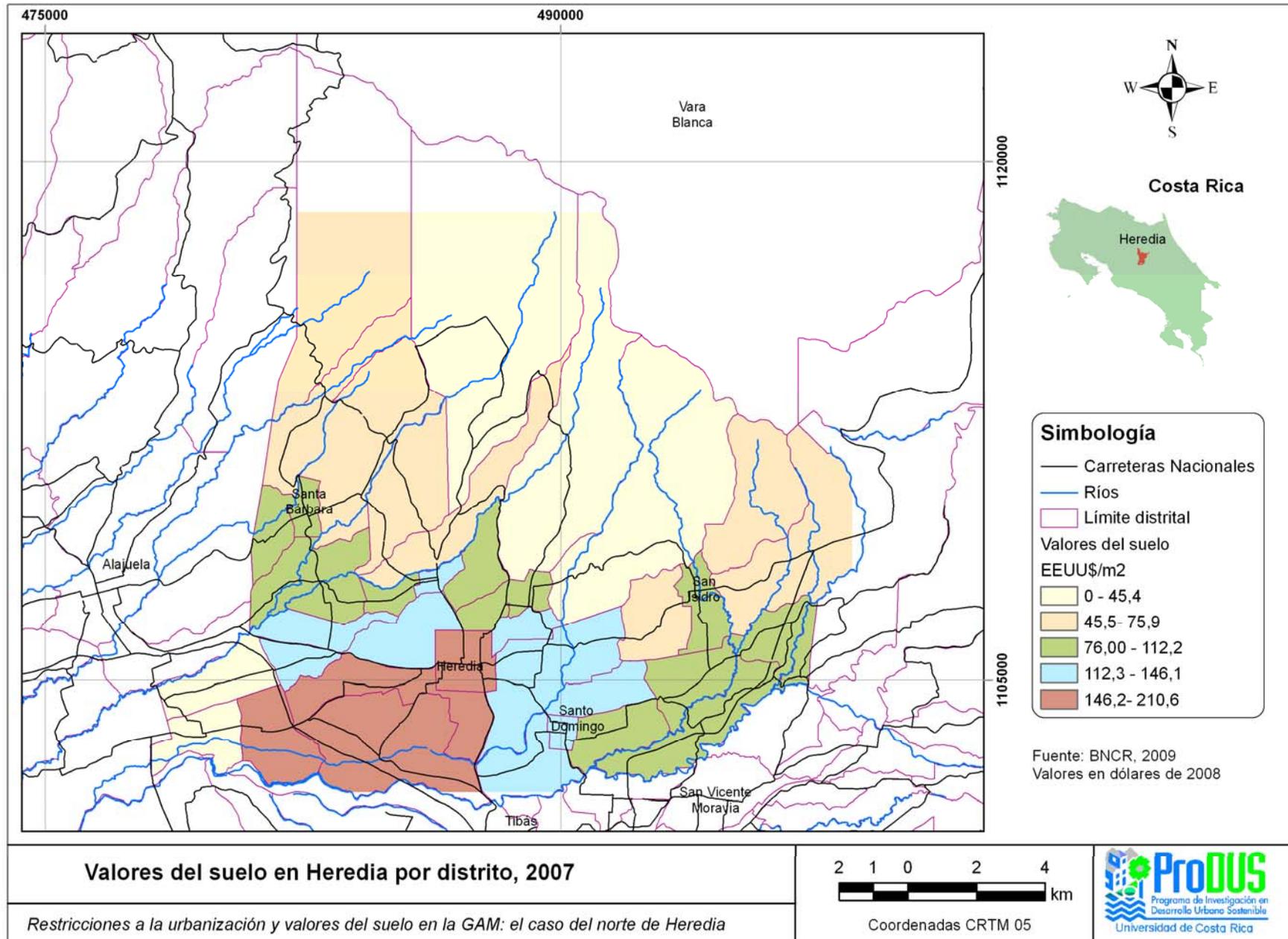
Figura 1. Valor del suelo promedio por distrito en la zona de estudio vs. tiempo de viaje en flujo libre a San José



Dado que los costos de transporte reflejan condiciones en flujo libre – diferenciales de distancia, ponderados por las características de las vías – el cambio de pendiente entre 1998 y 2003 debe explicarse por cambios en los patrones de renta del suelo. Bajo esta interpretación, el cambio de pendiente significa que entre 1998 y 2003, se revalorizaron más las localizaciones menos accesibles en tanto que el patrón general de 2003 y de 2007 es similar (i.e. el aumento en los valores del suelo fue constante para toda la zona analizada).

El cuadro 2 muestra la diferencia en el valor del suelo promedio entre zonas urbanas y zonas rurales para 1998-2007. Como es de esperar, los valores del suelo son mayores para zonas urbanas que para zonas no urbanas: el promedio de valor del suelo para las áreas identificadas como urbanas en el uso del suelo de 2008 (véase sección 1) es 33,5 dólares estadounidenses por m² mayor que las celdas rurales. Esta diferencia parece haber aumentado en el tiempo: para 1998, era de 11,7 dólares por m². El aumento en los valores del suelo urbano entre 1998 y 2008 fue de 34,8 dólares por m², casi tres veces mayor que el aumento en los valores no urbanos. Esta tendencia muestra una combinación de especulación y descentralización de la ciudad, que ha resultado en que la zona de estudio sea más central con respecto al conjunto de la ciudad en 2008 que en 1998 (evidente en la instalación de grandes centros industriales al sur del cantón de Heredia y en Belén y Flores, pero también del surgimiento de concentraciones de comercios y servicios al oeste de San José así como las dinámicas del cantón de Heredia).

Mapa 1. Valores del suelo en el norte de Heredia, 2007





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Cuadro 2. Diferencia entre valor del suelo promedio (EEUU\$/m² de 2008) de zonas urbanas y zonas rurales, 1998 y 2007

Año	Uso	Promedio	Desviación estándar	N (celdas)	Estadístico Z
2007	Urbano 08	106,872	49,556	1 369 744	
	No Urbano 08	73,348	31,177	2 969 878	
	<i>Diferencia</i>	<i>33,524</i>			<i>5563,8</i>
1998	Urbano 08	72,059	23,310	902 773	
	No Urbano 08	60,379	21,697	3 258 598	
	<i>Diferencia</i>	<i>11,680</i>			<i>2295,5</i>
Cambio 1997-2008	Diferencia Urbano	34,813			4421,3
	Diferencia No Urbano	12,969			3131,2

Análisis con base en mapas generados; valores del suelo promedio para celdas uniformes de 5x5 m. de mapas extrapolados

2.4. Determinantes del valor del suelo en el norte de Heredia: la plusvalía del proceso de urbanización

Con base en los mapas descritos de valores del suelo y los modelos de costos de transporte, se ha estimado empíricamente la relación entre renta del suelo (valor del suelo) y costos de transporte (tiempos de viaje a San José y Heredia). En particular, es importante en el contexto de esta investigación introducir variables adicionales para evaluar relaciones empíricas entre el valor del suelo y características físicas: pendiente y uso actual del suelo. Este último coeficiente permite estimar el valor adicional que el mercado le asigna a un suelo urbanizado (comparado con suelos no urbanos).

La estimación del modelo de regresión propuesto implica la transformación de mapas en celdas discretas, que luego son relacionados mediante técnicas econométricas. Un registro queda compuesto por los valores de las distintas variables que están sobre la celda que se ubica en el mismo lugar (misma coordenada geográfica). Estos modelos se han designado en la literatura como modelos estadísticos-espaciales; típicamente han sido aplicados a problemas de cambio de uso del suelo (explicar el desarrollo urbano o la deforestación/reforestación por medio de regresiones logísticas).

Lambin (1994) – citado entre otros por Braimoh y Onishi (2007) – señala tres componentes de estos modelos cuando aplicados a cambio de uso del suelo: mapas de uso del suelo y de sus determinantes hipotetizados, una función multivariada que describe el fenómeno en función de variables determinantes, y un mapa predictivo de la probabilidad de cambio de uso. El modelo de valor del suelo desarrollado comparte características (y problemas metodológicos) con estos modelos de cambio de uso del suelo. En particular, al ser las bases de datos producto de discretizar mapas (procesos espacialmente continuos), existe un importante riesgo de que los resultados sean sesgados por procesos de dependencia espacial (Irwin, 2010, discute ampliamente las dimensiones dinámicas de este posible sesgo espacial). Tradicionalmente, este sesgo ha sido ignorado o mitigado con variables espacialmente explícitas – en parte por el estado del arte en la estimación de modelos no lineales con efectos espaciales. Por simplicidad, el segundo enfoque se ha adoptado en la definición del modelo que se propone.

Específicamente, se han introducido las posiciones X y Y de cada celda, que son función lineal de las coordenadas X y Y. El uso de coordenadas para reducir el sesgo por dependencia espacial ha sido empleado, entre otros, por Müller y Zeller (2002) y por Hu y Lo (2007) en el contexto de modelos estadísticos-espaciales de cambio de uso del suelo.

Se ha planteado el modelo:

$$VS07 = \beta_0 + \beta_1 \cdot TVH + \beta_2 \cdot TVSJ + \beta_3 \cdot PEND + \beta_4 \cdot USOURB + \mu \quad [1]$$

donde:

- VS07 es el valor por m² del suelo en dólares de 2007 – transformados del valor en colones utilizando el tipo de cambio del día en que se registró la hipoteca
- TVH es el tiempo de viaje estimado en minutos al centro de Heredia (siguiendo el modelo descrito en la sección IV); se suponen condiciones de flujo libre (véase sección IV)
- TVSJ es el tiempo de viaje estimado en minutos al más cercano, para la celda, de los siguientes cuatro puntos: intersección entre el límite de Heredia y la ruta nacional 1, intersección entre el límite de Heredia y la ruta nacional 3, intersección entre el límite de Heredia y la ruta nacional 5 o intersección entre el límite de Heredia y la ruta nacional 32 (que son las cuatro vías más importantes que comunican la zona de estudio con San José); se suponen condiciones de flujo libre (véase sección IV)
- PEND es el porcentaje de pendiente estimado a partir del modelo de elevación digital (este modelo fue construido a partir de la cartografía nacional 1:10 000 para las zonas en que esta existe y empleando la cartografía de CENIGA, escala 1: 25 000, cuando no; se estimó con celdas de 5 m de lado para mantener consistencia con otras capas)
- USOURB es una variable categórica igual a 1 si el uso del suelo era urbano en 2008 y 0 si no lo era. La extensión de las capas que se analizan está definida por la intersección entre la imagen satelital que se usó para definir el uso del suelo y el límite sur de la ciudad de Heredia – el río Virilla
- μ es un error aleatorio con distribución normal y media 0.

Se estimó un segundo modelo con las posiciones X y Y de cada celda (tomando como X = 0 y Y = 0 la celda superior izquierda del rectángulo en que se inscriben todas las celdas). Los resultados se muestran en el cuadro 3.

$$VS07 = \beta_0 + \beta_1 \cdot TVH + \beta_2 \cdot TVSJ + \beta_3 \cdot PEND + \beta_4 \cdot USOURB + \beta_5 PosX + \beta_6 PosY + \mu \quad [2]$$

El nivel de ajuste del modelo estimado es aceptable: un R² ajustado de 0.584 para la ecuación [1] y un 0.590 para la ecuación [2]. El aumento, producto de incluir la posición de la celda, es relativamente modesto. El estadístico F de ambas ecuaciones evidentemente demuestra que por lo menos un coeficiente de regresión es mayor a 0. Todos los coeficientes de regresión, para ambos modelos, son significativos a un 99,9% de confianza. No es de extrañar que las pruebas estadísticas resulten en un modelo claramente significativo, dada la gran cantidad de registros (más de tres millones) que contiene la base de datos¹³.

¹³ Recuérdese que en modelos estadísticos-espaciales, cada registro en la base de datos corresponde a una celda con posición conocida. El valor de cada variable se asigna extrayendo el dato de la celda con

Cuadro 3. Determinantes del valor del suelo (EEUU\$/m² de 2008) en Heredia, 2008

Variable	MODELO 1			MODELO 2		
	Coef.	Estadístico t	Prob.	Coef.	Estadístico t	Prob.
Tiempo de viaje a San José - condiciones de flujo libre (min.)	-0,1515	-1439,000	<0.001	-0.1192	-531.034	<0.001
Tiempo de viaje a Heredia - condiciones de flujo libre (min.)	-0,0304	-388,499	<0.001	-0.0615	-247.470	<0.001
Uso del suelo (urbano = 1)	11,1797	337,261	<0.001	11.1653	336.563	<0.001
Pendiente (%)	-0,0103	-14,242	<0.001	0.0070	9.703	<0.001
Posición X				0.0067	73.540	<0.001
Posición Y				0.0091	125.236	<0.001
Intercepto	162,8254	3145,000	<0.001	132.8995	478.437	<0.001
R ²	0,584			0,590		
R ² ajustado	0,584			0,590		
Estadístico F (Prob.)	1 292 495,127 (<0.001)			88 2110,306 (<0.001)		
N	3 679 948			3 679 948		

Desde el punto de vista sustantivo todos los signos en el modelo 1 (ecuación 1) están de acuerdo con la teoría: el valor (renta) del suelo se reduce conforme aumenta el tiempo de viaje hacia las localizaciones centrales. Esta reducción es más sensible al tiempo de viaje a San José que al tiempo de viaje a Heredia (reflejando la mayor importancia relativa de San José para la zona de estudio). Las zonas urbanas valen en promedio \$11/m² más que las no urbanas – lo cual, comparado con el valor promedio de \$78/m² (véase cuadro 4) representa una cantidad muy significativa.

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de variables utilizadas en el modelo de regresión

Variable	Promedio	Desviación Estándar
Valor del suelo (EEUU\$/m ²)	78,23	40,787
Tiempo de viaje a San José - condiciones de flujo libre (min.)	484,17	161,466
Tiempo de viaje a Heredia - condiciones de flujo libre (min.)	469,55	220,464
Uso del suelo (urbano = 1)	0,2922	0,455
Pendiente (%)	19,23	20,217

Al reducir el sesgo por dependencia espacial (incluyendo la posición de la celda – modelo 2), se reduce el valor del tiempo de viaje a San José (la reducción en renta pasa de 0.15 a 0.11 dólares por m² por minuto de viaje) y aumenta el de Heredia (de 0.03 a 0.06 dólares por m² por

la posición definida del mapa correspondiente (por ejemplo, los datos de valor del suelo se toman del mapa de valores del suelo, etc.) Así, la cantidad de registros es función del tamaño de las celdas en estos mapas, limitada únicamente por la incertidumbre de la información base y la capacidad de la computadora que realiza el procesamiento. Utilizando celdas de 5x5 metros en la zona de estudio del modelo (correspondiente al área en que se intersecan todos los mapas con las variables requeridas), resultan 3 678 948 registros.

minuto de viaje). Aún así, el tiempo de viaje a San José sigue siendo mucho mayor – casi el doble – que el tiempo de viaje a Heredia. El segundo cambio es que el coeficiente de la pendiente pasa de ser negativo (-0.0103) a ser positivo (0.0070). Tómese en cuenta que el rango de variación de la pendiente es mucho más bajo que para otras variables y que el valor del coeficiente predice una variación de menos de un céntimo de dólar por cada punto porcentual en la pendiente. Considerando ambas condiciones, puede afirmarse que el efecto de la pendiente sobre el valor del suelo es prácticamente nulo (y se obtiene un valor significativamente diferente de cero debido a la gran cantidad de datos).

Es también notable que el valor adicional de las celdas urbanas se mantiene, para efectos prácticos, constante: pasa de 11,18 a 11,17 dólares por m². Igualmente notable es el signo de los coeficientes que representan el proceso de dependencia espacial: el hecho de que ambos sean positivos significa que el valor del suelo aumenta conforme se avanza del norte hacia el sur y del oeste hacia el este, lo cual es aproximadamente coincidente con los patrones de accesibilidad en la zona de estudio.

Sección 3. Descripción socioeconómica del norte de Heredia

El perfil socioeconómico de la población ayuda a describir los patrones de crecimiento de los asentamientos humanos dentro de la zona de estudio. Para ello se exploraron diferentes indicadores socioeconómicos tanto demográficos, como laborales y educativos. Los datos muestran que esta es una de las zonas de mayor crecimiento poblacional del país (últimos dos periodos censales), con tasas por encima del 3% anual y en algunos casos mayores al 4%. Actualmente, el área de estudio se encuentra en un proceso de transición demográfica, está evolucionando hacia una disminución en la fecundidad y la mortalidad y a diferencia de una estructura de población más joven presente en otros cantones, los grupos de mayor población son los intermedios, con una tendencia hacia el incremento en la población mayor de 65 años.

De igual forma, es una de las zonas con mayor nivel educativo de Costa Rica, los promedios de población con secundaria completa o universidad son mayores a los promedios nacionales y de la mayoría de cantones, ello explica los relativos altos valores de escolaridad, y porque la zona cuenta con uno de los menores porcentajes de empleo no calificados, e importantes porcentajes de población empleadas en actividades calificadas tanto del sector público como privado. Además, esta es la zona del país con mayor porcentaje de población empleada en actividades industriales, dando empleo en algunos distritos a una de cada tres personas. El sector público, comercial, y otras actividades calificadas del sector inmobiliario y financiero son otras de las fuentes importantes de empleo en la zona. Por su parte, el sector primario ha sufrido en las últimas décadas una contracción importante, muestra de ello es que en el año 2000 daba empleo a menos del 5% de los trabajadores, uno de los porcentajes más bajos del país.

Los aspectos anteriores explican en parte, porque la zona presenta los mayores porcentajes de hogares en estratos de altos ingresos, y una clase media (estratos II a IV) que representa más del 70% de los hogares. Esto se refleja en la cantidad de viviendas con carencias o necesidades básicas insatisfechas, las cuales son relativamente menores a la media nacional, casi un 80% de las viviendas en el año 2000 no presentaban problemas de carencias.

Un aspecto interesante de la zona, es que si bien es cierto el mayor porcentaje de personas de otras nacionalidades son de origen latinoamericano, especialmente nicaragüenses, existen altos porcentajes de población norteamericana y europea en algunos distritos (Asunción de Belén, Concepción de San Isidro, Ángeles de San Rafael, Santo Tomás en San Isidro), que llegan a representar hasta más del 40% del total de personas de otras nacionalidades.

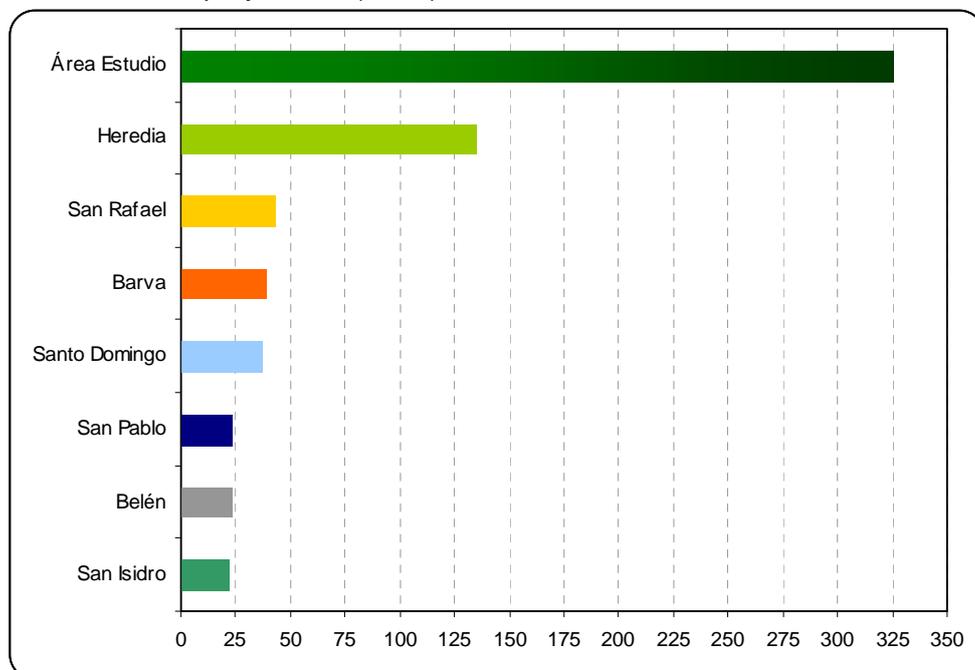
En resumen, estos indicadores muestran que la zona, cuenta con niveles de desarrollo relativamente mayores a otras zonas del país, donde un porcentaje importante de familias tiene un poder adquisitivo alto para demandar y pagar por zonas en desarrollos de baja densidad, con externalidades positivas de localización, exclusividad, paisaje y hasta cierto modo poder segregarse de otros estrato socioeconómicos. Probablemente, este perfil de población que presenta la zona, ayude a explicar en parte porque los altos valores del suelo dentro de la zona de estudio.

3.1. Aspectos generales de la población en la zona de estudio

El área de estudio definida para analizar la zona Norte de Heredia comprende siete cantones de la provincia de Heredia, estos son: Heredia, San Rafael, Barva, Santo Domingo, San Pablo, Belén y San Isidro. En términos de población, de acuerdo a las proyecciones del INEC, esta zona agrupa en 2011 cerca de 325.451 habitantes (un 7% de la población del país y un 13% de la población de la GAM), siendo el cantón de Heredia el de mayor población con 134.817

habitantes (42% total zona estudio) y los cantones de San Isidro, Belén y San Pablo los de menor población (menos de 25 mil habitantes cada uno). La figura 1 muestra la distribución de la población por cantón dentro del área de estudio).

Figura 1. Población proyectada (miles) al 2011 en los cantones del área de estudio



Fuente: INEC

Cuadro 1. Tasas de crecimiento anual intercensales en la zona de estudio 1963-2000

Lugar	Población				Tasa de Crecimiento anual		
	1963	1973	1984	2000	1963 - 1973	1973 - 1984	1984 - 2000
Costa Rica	1326930	1871780	2416809	3810179	3,5%	2,4%	2,9%
GAM	653.840	955.718	1.288.082	2.067.475	3,9%	2,8%	3,0%
Área de Estudio	86.760	121.226	178.666	309.297	3,4%	3,6%	3,5%
Heredia	31.640	36.487	54.896	103.894	1,4%	3,8%	4,1%
Barva	8.360	12.864	18.933	32.440	4,4%	3,6%	3,4%
Santo Domingo	11.510	17.423	23.985	34.748	4,2%	2,9%	2,3%
Santa Barbara	9.110	10.738	16.643	29.181	1,7%	4,1%	3,6%
San Rafael	8.800	16.013	22.871	37.293	6,2%	3,3%	3,1%
San Isidro	4.160	5.979	8.528	16.056	3,7%	3,3%	4,0%
Belén	5.360	8.538	11.993	19.834	4,8%	3,1%	3,2%
Flores	3.940	6.524	9.015	15.038	5,2%	3,0%	3,2%
San Pablo	3.880	6.660	11.802	20.813	5,6%	5,3%	3,6%

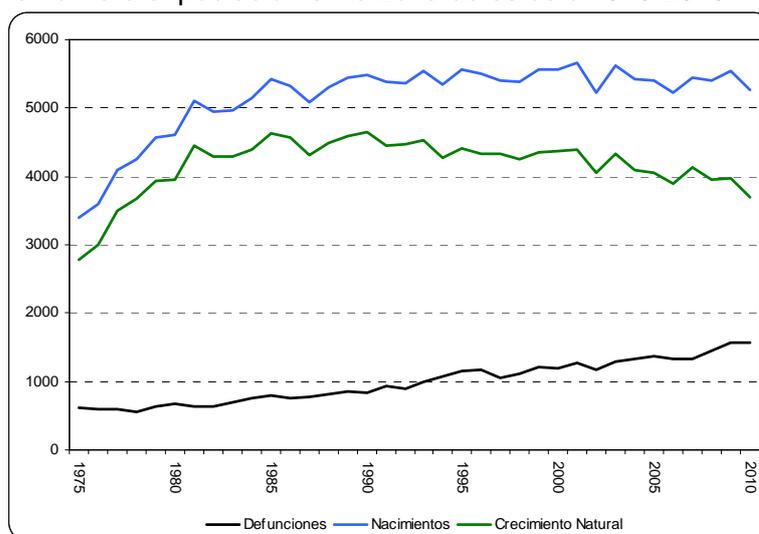
Fuente: INEC, censos de población de 1963, 1973, 1984 y 2000

En los últimos periodos censales el área de estudio ha crecido por encima de la media nacional, ha tasas superiores al 3% anual. Durante el periodo 1984-2000, esta zona creció al 3,5%, valor superior al promedio de la GAM que fue del 3% o al del país que fue del 2.9%.

Con excepción de Santo Domingo (2.3%), el resto de cantones de la zona de estudio creció por encima del 3% anual, siendo el cantón de Heredia (4,1%) y San Isidro (4%) los de mayor crecimiento, ambos creciendo a tasas anuales del 4% o más. Este rápido crecimiento explica porque cantones como Heredia, Santa Bárbara, San Isidro y San Pablo prácticamente duplicaran su población entre 1984 y el año 2000. Sin embargo, no es de esperar que este patrón de crecimiento se replique en los próximos años, especialmente en cantones como Heredia ya que existe un claro agotamiento del área urbanizable.

El área de estudio, como el país en general ha venido experimentando un descenso en la tasa de natalidad y fecundidad en los últimos años, actualmente la tasa de natalidad del país se ubica en 16,3 nacimientos por cada 1000 habitantes, relativamente mayor al promedio del área de estudio que en 2009 alcanzó 14,5. Lo anterior es consecuente con la caída en la tasa de fecundidad la cual alcanzó en promedio un valor de 1,67 en el área de estudio durante el 2009, mientras que la del país es de 2,11 (en países desarrollados como Corea del Sur, Alemania y Japón es menor al 1,4).

Figura 2. Crecimiento Natural población en la zona de estudio 1975-2010



Fuente: INEC

Los datos anteriores, ayudan a explicar el la figura 2, que muestra el crecimiento natural de la población del área de estudio en los últimos 10 años, es decir la diferencia entre el número de nacimientos y el número de defunciones. Los datos muestran un crecimiento natural de la población de alrededor de 3.400 personas anualmente dentro del área de estudio, en otras palabras esta zona creció entre el 2000 y el 2010 en 44.927 personas, lo que corresponde a un número de nacimientos aproximado de 4600 por año y una cantidad de muertes cercana a 1300 anuales.

3.2. Perfil demográfico del área de estudio

La edad y el sexo son las características más básicas de una población. Al analizar la población de la zona de estudio es posible notar composiciones diferentes por edad y sexo, lo anterior es importante ya que el número y proporción de varones y mujeres en cada grupo de edades y esta estructura puede tener un efecto considerable en su comportamiento demográfico y socioeconómico, tanto presente como futuro.

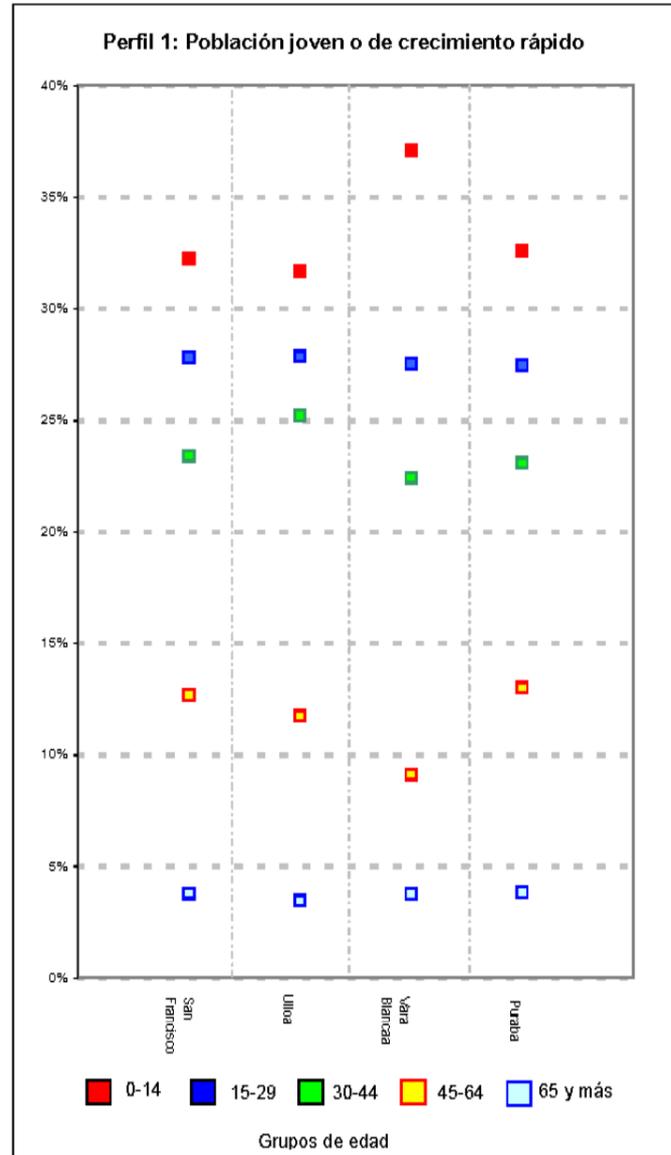
Las poblaciones de los distintos distritos de esta zona pueden diferir de maneras muy marcadas como resultado de sus patrones de fecundidad, mortalidad y migración presentes y pasados. No obstante, todas tienden a poder clasificarse dentro de tres perfiles generales de composición por edad y sexo.

La figura 3 permite observar ciertas características de estos tres perfiles de la población por grupos de edad para los distritos de esta zona. El primero hace referencia a la Población joven o de crecimiento rápido la cual se caracteriza por tener una alta fecundidad e incluso alta mortalidad, alrededor 35 y 40 por ciento de su población es menor de 15 años y menos de un 4% es mayor de los 65 años, estas poblaciones se indican mediante una pirámide que contiene altos porcentajes de personas en las edades menores. Es importante mencionar, que la zona de estudio, es uno de los lugares donde existe menor cantidad de población joven del país, muestra de ello es que dentro de este perfil, únicamente se encontraron 4 distritos que se aproximaban a estas características, ellos son: San Francisco, Vara Blanca y Ulloa de Heredia y Puraba de Santa Bárbara. Si se toma en cuenta que estos datos son del Censo del 2000, y que la población continúa en su proceso de transición, es de esperar que en la actualidad estos distritos se ubiquen en el segundo perfil de población, el cual se detalla a continuación.

El segundo perfil se refiere a la población en transición, como su nombre lo dice, esta población se encuentra en proceso de cambio. Está evolucionando hacia una disminución en la fecundidad y la mortalidad. A diferencia de la población joven, los grupos de mayor población son los intermedios. Aún mantienen un porcentaje de población menor de 15 años, superior al 30% y su porcentaje de población mayor de 65 años es menor a un 6%, este tipo de población presentan una pirámide con una proporción más pequeña de la población en las edades menores (véase pirámide de población del año 2000 para la zona de estudio, figura 4). Ejemplos de este perfil tenemos los distritos de San Pedro y San Pablo en Barva, San Juan, Jesús y Santo Domingo en Santa Bárbara así como Santiago y Concepción en San Rafael

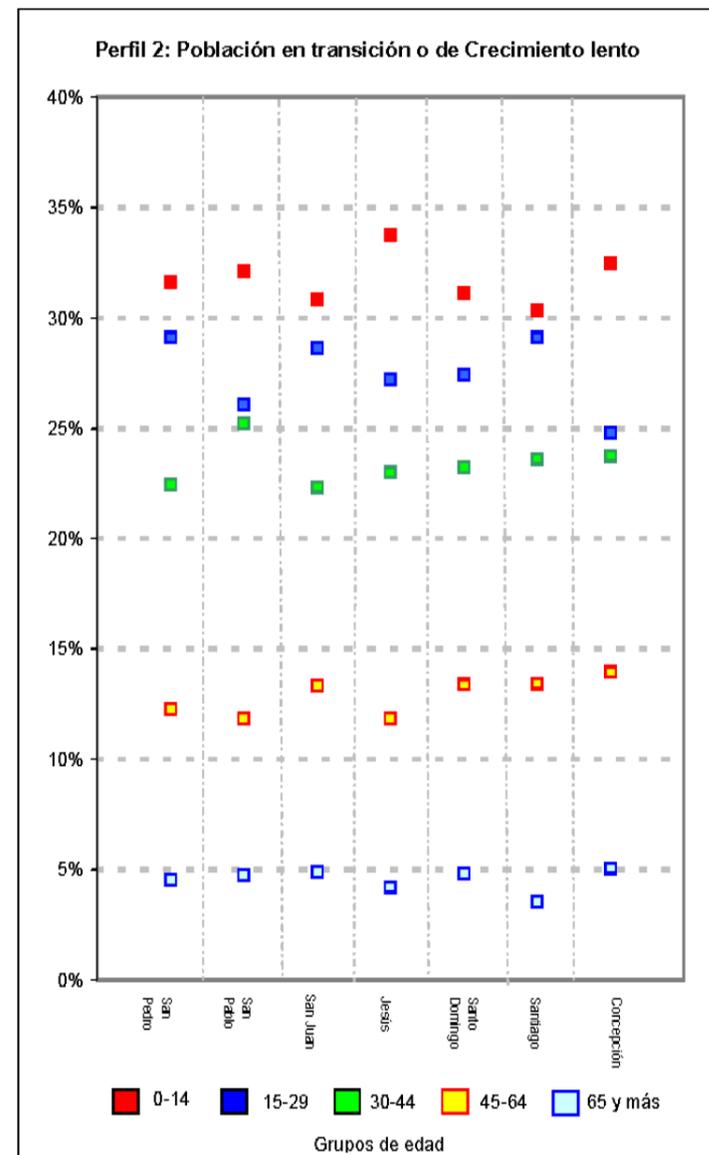
Por último tenemos aquellas poblaciones que presentan un crecimiento nulo, esta es una población con estructura casi estacionaria. Tiene valores relativos muy bajos de fecundidad y mortalidad. Menos del 25% de la población es menor a 15 años, y aproximadamente más del 15% de la población, es mayor de 65 años y se indica mediante números aproximadamente iguales de personas en todas las categorías de edad, con una disminución gradual en las edades más avanzadas, aunque con la información al año 2000 es difícil encontrar distritos que cumplan estrictamente estas características, es posible observar algunos distritos que se aproximan a este tipo de perfil de la población entre estos tenemos a Heredia, Barva, Santo Domingo, Asunción de Belén y Barrantes (Flores).

Figura 3. Perfiles de población por grupos de edad, distritos de la zona de estudio



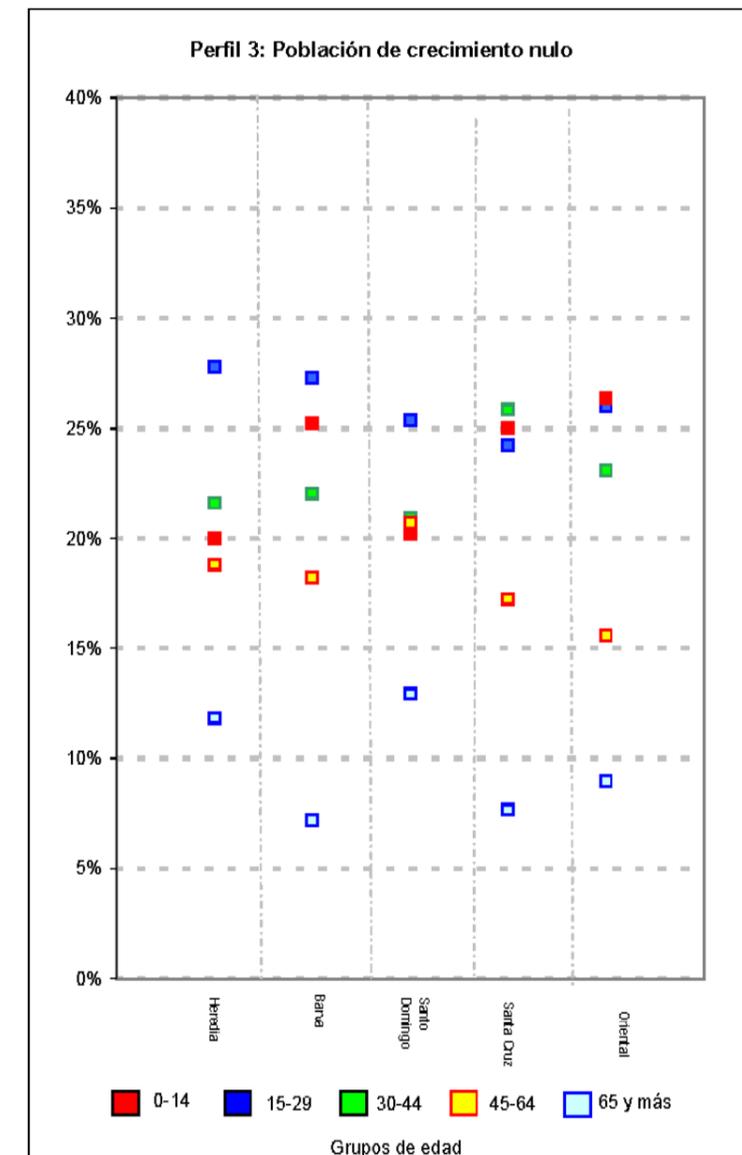
La Población joven o de crecimiento rápido se caracteriza por tener una alta fecundidad e incluso alta mortalidad, alrededor 35 y 40 por ciento de su población es menor de 15 años y menos de un 4% es mayor de los 65 años.

40103	San Francisco (Heredia)
40104	Ulloa (Heredia)
40105	Vara Blanca (Heredia)
40406	Puraba (Santa Bárbara)
Perfil : 1	



Población en Transición: Como su nombre lo dice, esta población se encuentra en proceso de cambio. Está evolucionando hacia una disminución en la fecundidad y la mortalidad. A diferencia de la población joven, los grupos de mayor población son los intermedios. Aún mantienen un porcentaje de población menor de 15 años, superior al 30% y su porcentaje de población mayor de 65 años es menor a un 6%

40202	San Pedro (Barva)	40405	Santo Domingo (Santa Bárbara)
40203	San Pablo (Barva)	40503	Santiago (San Rafael)
40403	San Juan (Santa Bárbara)	40505	Concepción (San Rafael)
40404	Jesús (Santa Bárbara)	Perfil : 2	



La población de crecimiento nulo: Es una población con estructura casi estacionaria. Tiene valores relativos muy bajos de fecundidad y mortalidad. Menos del 25% de la población es menor a 15 años, y aproximadamente más del 15% de la población, es mayor de 65 años. (estrictamente la población en los distritos de Norte de Heredia no cumple con estas características en el año 2000 pero actualmente en 2011 podrían ser un ejemplo)



40101	Heredia (Heredia)
40201	Barva (Barva)
40301	Santo Domingo (Santo Domingo)
40703	Asunción (Belén)
40802	Barrantes (Flores)
Perfil : 3	

Elaboración ProDUS - UCR con datos del Censo Nacional de Población y Vivienda, 2000.

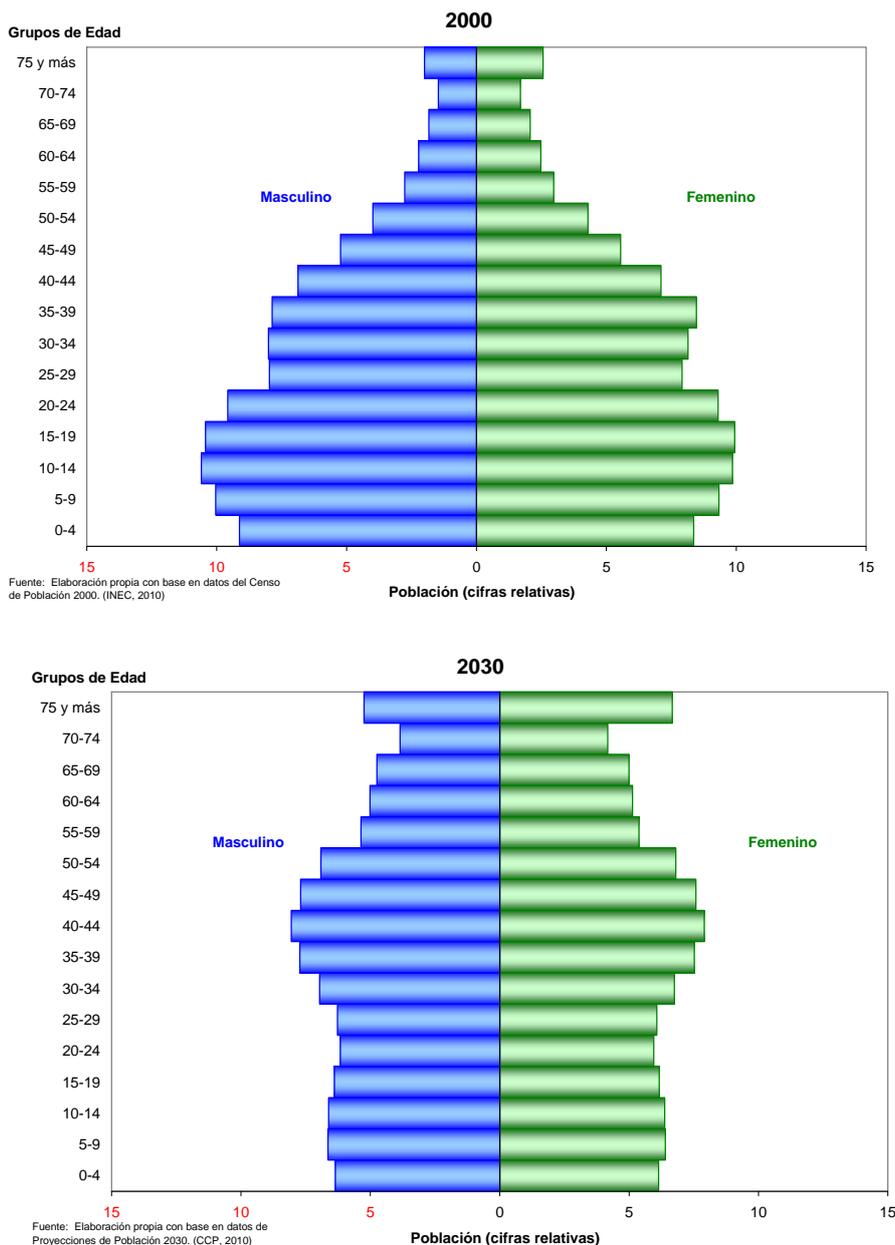


Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

3.3. Efectos del cambio en la estructura de edades

La pirámide poblacional del 2000 como la proyectada al 2030 para la zona de estudio permite observar que los jóvenes que actualmente están en edad de buscar un empleo o establecer un hogar se encuentran en pleno aumento. Lo anterior es importante ya que esto está ejerciendo presión en el empleo, la vivienda y la educación superior.

Figura 4. Estructura de la población por grupos quinquenales de edad y sexo 2000-2030 del área de estudio



Fuente: INEC

Además de lo anterior el aumento en el número de adultos mayores tiene efectos sobre el sector salud el cual empieza a sufrir cada vez más la presión demográfica, igualmente dado que el sistema de pensiones está basado en transferencias intergeneracionales, esta evolución está suscitando preocupaciones lógicas respecto al balance demográfico entre el número de personas en edad de trabajar y el de personas jubiladas, aunque es preciso tener en cuenta otras variables, como la tasa de empleo, el nivel salarial y la actividad laboral femenina.

Otro aspecto importante que se desprende al comparar la población de la zona de estudio en estos periodos es el cambio en la razón de dependencia por edad. La razón de dependencia por edad es la razón de personas en edades en las que “dependen” de otros (generalmente personas menores de 15 y mayores de 64 años de edad) a personas en edades “económicamente productivas” (entre 15 y 64 años de edad) en una población. En las últimas tres décadas la proporción de personas dependientes en esta zona ha disminuido, esto se debe a que el alto número de población joven (menor de 15 años) que presentaban los diferentes distritos en los años setenta ha ido disminuyendo aumentando así el número de personas que entran al mercado laboral.

Lo anterior está relacionado con el bono demográfico¹⁴, el cual si se aprovecha bien puede ser un factor de desarrollo para el país. Lo anterior se debe a que los cambios en la relación de dependencia están asociados a la potencialidad de crecimiento económico, debido a su relación con el nivel de ingresos. De esta manera, una sociedad con una alta proporción de trabajadores tiene más capacidad para aumentar su producción que una con una fuerza laboral relativamente escasa e inflexible. Durante los años en que existe una relación de dependencia baja se incrementan el ahorro y la inversión.

Uno de los mecanismos que generan este crecimiento del ahorro son las pensiones, pues se supone que la gran cantidad de gente que se encuentra trabajando cotiza para algún régimen. En términos de su composición, las poblaciones jóvenes presionan sobre servicios sociales como la educación y la asistencia relacionada con ésta. A su vez, las poblaciones mayores ejercen presión sobre los servicios de salud. Si la relación de dependencia es alta, el monto que debe destinarse a servicios sociales va en detrimento de las posibilidades de invertir en formación de capital. Cuando los dependientes son predominantemente mayores, entonces disminuyen las posibilidades de ahorro, que deben ser compensadas por aumentos en la productividad.

Los efectos del bono demográfico sobre el crecimiento económico no son automáticos. Los cambios en el perfil de la población pueden agravar las consecuencias de una mala política económica. Si bien una relación de dependencia baja es un elemento favorable, puede no serlo si el país no logra resolver la presión ejercida por el número de personas que se incorpora a la fuerza de trabajo y que antes de ello demanda acceso a la educación. El que una relación de dependencia baja resulte beneficiosa depende en gran medida de las oportunidades de empleo existentes y de la preparación que tengan quienes entran a la fuerza de trabajo. De lo contrario, la falta de acceso a empleos de calidad puede más bien generar problemas sociales de difícil solución. Hay que recordar que es común que la tasa de desempleo de la población de 15 a 24 años tienda a ser mayor que el promedio global.

¹⁴ Ventajas de una relación de dependencia decreciente

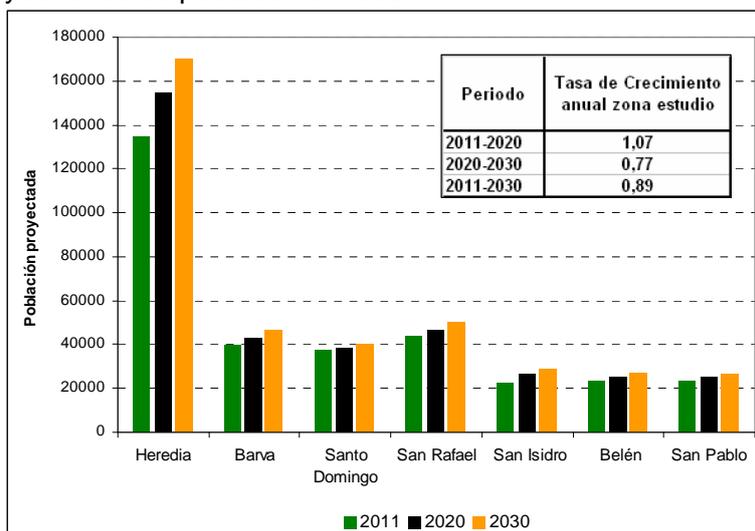
3.4. Crecimiento de la población al 2030

De acuerdo con las proyecciones de población del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se espera que la población del área de estudio se incremente en los próximos 20 años (2011-2030) en alrededor de 63.516 habitantes, esto representa una tasa de crecimiento anual cercana al 0.89%.

Los cantones de mayor crecimiento esperado en términos absolutos, serán Heredia donde se espera un incremento de la población en este periodo de alrededor de 35.365 personas, seguido de Barva con 7.315, San Isidro 6.365 y San Rafael 6.219. Por el contrario, los cantones de menor crecimiento en los próximos años de acuerdo a las proyecciones serán San Pablo (2.454), Santo Domingo (2.521) y Belén (3.258).

Este crecimiento proyectado para los próximos veinte años en la zona de estudio es consecuente con el crecimiento que se estima tendrá el país en este periodo, el cual se aproxima al 0.9% anual entre el 2011-2030, que se explica en parte por menores tasas de crecimiento de la fecundidad, natalidad y migración.

Figura 5. Proyecciones de población al 2030



Fuente: INEC

3.5. Perfil educativo de la zona de estudio

Para analizar el nivel educativo de la población en la zona de estudio, se analizó con los datos censales el nivel educativo de la población mayor de 25 años. Los resultados muestran que el 3.1% de la población mayor de 25 años no cuenta con ningún tipo de estudios, valor relativamente menor si se compara con el promedio nacional que era de 6,7%.

El porcentaje de población con primaria incompleta, supera el 15% de la población mayor de 25 años (21,1% promedio nacional), y en distritos como Concepción de San Rafael, San Francisco de San Isidro, San José de la Montaña en Barva y Santo Domingo en Santa Bárbara este porcentaje supera al 22%, es decir, en estas zonas casi un cuarto de la población mayor de 25 años no ha terminado la escuela.

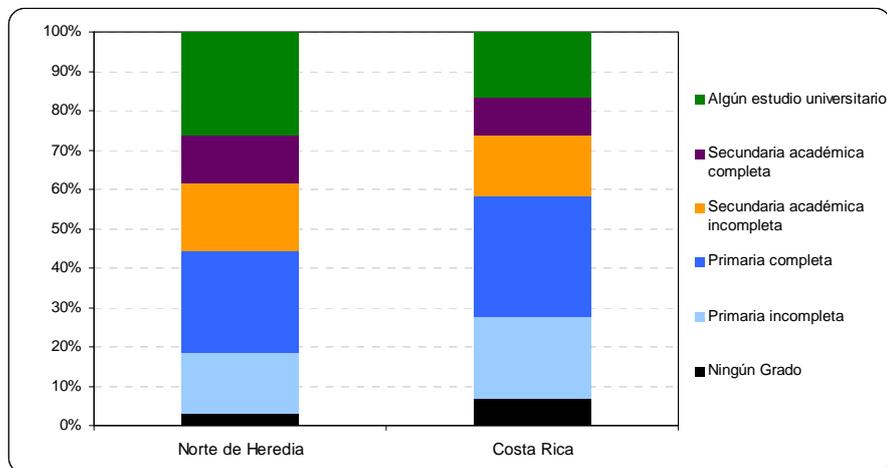
Cuadro 2. Nivel educativo en el área de estudio, 2000

Distrito		Nivel de educación					
Código	Nombre	Ningún Grado	Primaria incompleta	Primaria completa	Secundaria académica incompleta	Secundaria académica completa	Algún estudio universitario
Costa Rica		6,7%	21,1%	30,4%	15,5%	9,7%	16,6%
Total Norte Heredia		3,1%	15,3%	26,1%	17,1%	12,1%	26,2%
40101	Heredia	1,8%	10,8%	17,0%	16,0%	11,7%	42,8%
40102	Mercedes	1,7%	11,3%	19,8%	16,6%	11,7%	38,9%
40103	San Francisco	3,9%	15,2%	25,3%	20,4%	13,4%	21,9%
40104	Ulloa (Barrial)	2,6%	13,5%	25,6%	19,1%	13,8%	25,5%
40201	Barva	1,1%	12,2%	18,6%	14,5%	14,6%	39,0%
40202	San Pedro	3,7%	20,4%	33,4%	19,2%	10,2%	13,1%
40203	San Pablo	3,8%	13,9%	29,8%	20,2%	13,3%	19,0%
40204	San Roque	2,6%	12,0%	24,5%	19,8%	15,4%	25,7%
40205	Santa Lucía	3,5%	13,1%	19,8%	15,9%	11,4%	36,3%
40206	San José de la M.	4,5%	23,4%	33,1%	14,7%	8,0%	16,3%
40301	Santo Domingo	1,8%	10,4%	19,3%	16,0%	14,1%	38,4%
40302	San Vicente	1,8%	11,2%	16,0%	13,5%	13,7%	43,8%
40303	San Miguel	3,3%	15,1%	32,4%	17,7%	11,4%	20,2%
40304	Paracito	2,0%	17,7%	36,7%	18,9%	10,3%	14,4%
40305	Santo Tomás	3,0%	9,1%	26,5%	14,3%	13,2%	33,9%
40306	Santa Rosa	2,6%	19,1%	31,8%	17,7%	10,4%	18,5%
40307	Tures	4,2%	17,9%	32,6%	16,7%	10,5%	18,1%
40308	Pará	4,6%	15,6%	33,5%	14,6%	11,0%	20,7%
40401	Santa Bárbara	2,6%	17,3%	28,9%	15,7%	13,3%	22,2%
40402	San Pedro	2,8%	20,8%	37,4%	14,6%	8,7%	15,8%
40403	San Juan	4,1%	17,8%	33,8%	16,3%	13,0%	15,0%
40404	Jesús	5,7%	20,4%	34,4%	15,3%	10,6%	13,5%
40405	Santo Domingo	5,5%	23,8%	33,2%	15,9%	9,1%	12,4%
40406	Purab	4,9%	21,7%	33,7%	16,3%	11,3%	12,0%
40501	San Rafael	2,6%	14,2%	22,3%	19,3%	14,3%	27,3%
40502	San Josecito	3,4%	18,7%	27,4%	20,3%	11,8%	18,3%
40503	Santiago	2,7%	14,8%	24,3%	19,3%	11,3%	27,5%
40504	Angeles	4,1%	21,3%	27,9%	15,0%	9,2%	22,4%
40505	Concepción	3,7%	22,4%	32,2%	13,7%	9,4%	18,6%
40601	San Isidro	2,7%	14,7%	30,0%	16,8%	12,9%	23,0%
40602	San José	5,0%	21,1%	31,1%	12,9%	9,8%	20,0%
40603	Concepción	4,0%	19,9%	36,8%	12,5%	8,5%	18,3%
40604	San Francisco	3,7%	22,7%	28,9%	19,0%	9,7%	15,9%
40701	San Antonio	3,1%	16,0%	30,1%	17,2%	13,4%	20,2%
40702	La Ribera	3,6%	20,0%	34,3%	13,1%	10,6%	18,3%
40703	Asunción	1,5%	13,6%	20,8%	12,4%	11,7%	40,0%
40801	San Joaquín	3,9%	13,0%	26,8%	16,0%	16,4%	23,8%
40802	Barrantes	2,3%	14,9%	24,7%	14,5%	12,0%	31,7%
40803	Llorente	3,1%	15,5%	31,3%	16,2%	12,5%	21,4%
40901	San Pablo	2,7%	14,5%	23,3%	16,4%	11,1%	32,0%

Fuente: INEC

El 26,1% de los mayores de 25 años en la zona han concluido sus estudios de primaria, este porcentaje es mayor al promedio nacional que se ubica en 30,4%. Los mayores porcentajes de población mayor de 25 años que solo cuentan con primaria completa se encuentran en los distritos de Jesús en Santa Bárbara, Paracito en Santo Domingo, Concepción en San Rafael y San Pedro en Santa Bárbara, todos con valores por encima del 35%.

Figura 6. Perfil educativo de la zona de estudio, 2000



Fuente: INEC

Las personas que ingresaron a secundaria y no terminaron agrupan el 17,1% de los mayores de 25 años de la zona de estudio, valor relativamente menor al promedio nacional que era del 15,5%. Con respecto a las personas mayores de 25 años que han concluido la secundaria, se tiene que en la zona de estudio este valor alcanza el 12,1%, mayor si se compara con el porcentaje a nivel nacional que es del 9,7%.

Cerca del 26,2% de la población en la zona de estudio cuenta con algún estudio para-universitario o universitario, valor muy por encima de la media nacional que era de 16,6%, convirtiendo a esta zona en una de las de mayor nivel educativo del país. Estas personas se concentran principalmente en los distritos de San Vicente de Santo Domingo (44%), Heredia (43%), Asunción de Belén (40%), Barva (39%), Mercedes de Heredia (39%), Santo Domingo (38%) y Santa Lucía de Barva (37%), aunque alrededor de 10 distritos más de la zona tienen más de un cuarto de su población mayor de 25 años con algún estudio universitario. Con respecto a la escolaridad en la zona de estudio, es decir el número de años en promedio que ha asistido la población a educación, es de 8,82, valor mayor al promedio nacional que es de 7,5, y al de la GAM (8,37).

Cuadro 3. Nivel educativo en el área de estudio, 2000

Distrito		Escolaridad
Código	Nombre	
Costa Rica		7,50
Area de Estudio		8,82
40101	Heredia	10,54
40102	Mercedes	10,12
40103	San Francisco	8,48
40104	Ulloa (Barrial)	9,00
40201	Barva	10,31
40202	San Pedro	7,32
40203	San Pablo	8,14
40204	San Roque	9,21
40205	Santa Lucía	9,83
40206	San José de la Montaña	7,22
40301	Santo Domingo	10,23
40302	San Vicente	10,64
40303	San Miguel	8,22
40304	Paracito	7,65
40305	Santo Tomás	9,77
40306	Santa Rosa	7,95
40307	Tures	7,84
40308	Pará	8,13
40401	Santa Bárbara	8,39
40402	San Pedro	7,48
40403	San Juan	7,70
40404	Jesús	7,22
40405	Santo Domingo	6,89
40406	Purab	7,10
40501	San Rafael	9,19
40502	San Josecito	8,01
40503	Santiago	9,02
40504	Angeles	8,03
40505	Concepción	7,64
40601	San Isidro	8,57
40602	San José	7,79
40603	Concepción	7,62
40604	San Francisco	7,53
40701	San Antonio	8,33
40702	La Ribera	7,76
40703	Asunción	10,24
40801	San Joaquín	8,89
40802	Barrantes	9,43
40803	Llorente	8,36
40901	San Pablo	9,32

Fuente: INEC

Como es de esperar la mayor escolaridad dentro de la zona de estudio se ubica en los distritos de San Vicente de Santo Domingo(10,6), Heredia (10,5), Barva (10,3), Asunción de Belén (10,2), Santo Domingo (10,2) y Mercedes de Heredia (10,1) con más de 10 años de escolaridad. Por el contrario, los distritos de menor escolaridad que se ubican por debajo del promedio nacional son: Santo Domingo (6,8), Puraba (7,1), Jesús (7,2) y San Pedro todos perteneciente al cantón de Santa Bárbara así como San José de la Montaña (7,2) y San Pedro (7,4) en Barva (7,2).

Con respecto al analfabetismo, es decir el porcentaje de la población de 10 años y más que no sabe leer y escribir, se tiene que en la zona de estudio alcanzó en el año 2000 un 2.29%; el cual es relativamente menor que el valor para Costa Rica (4,79%). Los distritos de Jesús (4,3%), Santo Domingo (3,9%) y Puraba (4,2%) en Santa Bárbara, así como San José de la Montaña (3,6%) en Barva y en otros distritos como Concepción de San Isidro (4,4%) y Concepción de San Rafael (4%) presentan los mayores índices de analfabetismo, mientras que el menor valor se da en los distritos de Santo Domingo (1%), Heredia (1,4%), Mercedes en Heredia (1,4%), así como Barva (1,1%) y Barrantes en Flores (1,2%).

Cuadro 4. Analfabetismo en la zona de estudio, 2000

Grupos de edad	Distribución de analfabetas según la edad		Tasa Analfabetismo	
	Zona de estudio	Costa Rica	Zona de estudio	Costa Rica
11 a 19	10,61%	13,89%	1,05%	2,45%
20 a 39	25,65%	25,36%	1,39%	3,00%
40 a 49	12,94%	12,79%	1,91%	4,36%
50 a 64	22,03%	22,38%	4,29%	9,56%
65 y más	28,76%	25,57%	9,01%	17,36%
Total	100,00%	100,00%	2,29%	4,79%

Fuente: INEC

Al analizar el analfabetismo por grupos de edad es posible identificar algunos aspectos:

- El mayor número de analfabetas se concentra entre los mayores de 65 años (28,7%), cuya tasa de analfabetismo es de 17,3% y entre las personas de 50 y 64 años cuyo analfabetismo alcanza el 9,5% y concentran cerca del 22% de toda la población analfabeta en la zona de estudio.
- Como es de esperar la población de menor edad es decir el grupo entre 11 a 19 años muestra las menores tasas de analfabetismo (1,05%), mientras que esta tasa es de 1,4% para las personas entre los 20 a 39 años (véase cuadro 5).
- Las personas que en el 2000 se encontraban en edades entre los 40 y 50 años presentan una tasa de analfabetismo de 4,29%, y representan solo el 12% de todos los analfabetas de la zona de estudio.
- Como se mencionó anteriormente la tasa de analfabetismo en general de la zona de estudio es de 2,29%, sin embargo si se analiza solo los grupos que actualmente están laborando o que en el corto plazo estarían ingresando al mercado laboral (10-50 años) el problema del analfabetismo no es tan grave ya que este solo representa a menos 1.1% de la población mayor de 10 años de la zona de estudio.

Cuadro 5. Cantidad de escuelas y estudiantes matriculados según tipo, 2009

Tipo de escuelas	Cantidad de escuelas		Cantidad de escuelas públicas		Cantidad de escuelas privadas		Cantidad de estudiantes matriculados		Cantidad de estudiantes matriculados en escuelas públicas		Cantidad de estudiantes matriculados en escuelas privadas	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Total escuelas país	4071	100,0%	3773	100,0%	298	100,0%	505614	100,0%	468061	100,0%	37553	100,0%
Area Estudio	134	3,3%	88	2,3%	46	15,4%	38990	7,7%	32626	7,0%	6364	16,9%
Unidocente (menos de 30 alumnos)	7	0,2%	3	0,1%	4	1,3%	107	0,0%	36	0,0%	71	0,2%
Dirección 1 (31 a 90 alumnos)	30	0,7%	13	0,3%	17	5,7%	1776	0,4%	769	0,2%	1007	2,7%
Dirección 2 (90 a 200 alumnos)	27	0,7%	14	0,4%	13	4,4%	3496	0,7%	1897	0,4%	1599	4,3%
Dirección 3 (200 a 400 alumnos)	37	0,9%	27	0,7%	10	3,4%	10389	2,1%	7784	1,7%	2605	6,9%
Dirección 4 (400 a 800 alumnos)	23	0,6%	21	0,6%	2	0,7%	13306	2,6%	12224	2,6%	1082	2,9%
Dirección 5 (más de 800 alumnos)	10	0,2%	10	0,3%	0	0,0%	9916	2,0%	9916	2,1%	0	0,0%

Fuente: MEP

En términos de infraestructura educativa la zona de estudio cuenta de acuerdo con los datos del MEP alrededor de 134 escuelas, lo que representa alrededor del 3.3% de todas las escuelas del país. El 65% de estos centros educativos son públicos y agrupan alrededor del 84% de los estudiantes matriculados en la zona de estudio. De igual forma, esta zona concentra un

porcentaje importante de las escuelas privadas del país, en total se contabilizaron 46, lo que representa cerca del 15,4%.

En esta zona existe predominio de escuelas entre 30 y 400 alumnos agrupando alrededor del 70% de las mismas, de igual forma, esta zona concentra cerca de 33 escuelas que son grandes en términos de estudiantes matriculados, es decir entre 400 y más de 800 alumnos (véase cuadro 5).

Con respecto a los colegios en la zona de estudio, en total se contabilizan 51, es decir el 5.3% de los centros de secundaria del país y alrededor del 8,4% de todos los estudiantes matriculados del país. La cantidad de colegios públicos (27) y privados (24) es muy similar en la zona de estudio, lo cual no es un patrón normal en las diferentes zonas de país y responde a una concentración de población de ingresos medio - altos y una alta accesibilidad producto de una relativa buena conexión vial y un relativo buen servicio de transporte público y privado (véase cuadro 6).

Cuadro 6. Cantidad de colegios y estudiantes matriculados según tipo, 2009

Tipo de Colegio	Cantidad de colegios		Cantidad de colegios públicos		Cantidad de colegios privados		Cantidad de estudiantes matriculados		Cantidad de estudiantes matriculados en colegios públicos		Cantidad de estudiantes matriculados en colegios privados	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Total colegios país	830	100,0%	634	100,0%	196	100,0%	349595	100,0%	321890	100,0%	27705	100,0%
Area de estudio	51	6,1%	27	4,3%	24	12,2%	29373	8,4%	25170	7,8%	4203	15,2%
Académica Diurna	44	5,3%	20	3,2%	24	12,2%	24513	7,0%	20310	6,3%	4203	15,2%
Académica Nocturna	3	0,4%	3	0,5%	0	0,0%	2292	0,7%	2292	0,7%	0	0,0%
Artística	1	0,1%	1	0,2%	0	0,0%	472	0,1%	472	0,1%	0	0,0%
Técnica Diurna	3	0,4%	3	0,5%	0	0,0%	2096	0,6%	2096	0,7%	0	0,0%
Técnica Nocturna	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Fuente: MEP, 2009

3.6. Niveles de Ingresos y Necesidades Básicas Insatisfechas

Al analizar los hogares de acuerdo a su nivel de ingreso (Madrugal, 2002), se tiene que esta zona es de las que presenta mayor concentración de hogares de altos ingresos del país. El estudio de (Madrugal, 2002) agrupa los hogares de acuerdo a sus niveles de ingreso en seis categorías, siendo el grupo I el de menores ingresos y el VI el de mayores ingresos.

Los datos indican que hay una importante presencia de familias de ingresos medios que están dispersas por toda el área de estudio, representadas en este análisis por la inmensa mayoría de viviendas (70%) que se ubican entre los estratos II y IV y que sin embargo tampoco pertenecen a los sectores altos representados por los estratos V y VI, los cuales agrupan a su vez el 12% de las viviendas.

Con respecto a las aglomeraciones de familias de ingresos altos (Estratos V y VI), estas se encuentran principalmente localizados en el distrito central de Heredia (19,5%), en Santa Lucía de Barva (20,3%), Santo Tomás (20,3%) y San Vicente (24,4%) de Santo Domingo, así como Asunción de Belén (32,5%). El elemento más importante del análisis geográfico de los asentamientos humanos con altas proporciones de viviendas que pertenecen al estrato de mayores ingresos es su adyacencia, que llega a crear unas pocas unidades territoriales de gran área y baja densidad bruta. Si se analizara por segmento censal, la casi totalidad de los asentamientos humanos que tienen una proporción significativa de hogares en el estrato 6 son adyacentes a otros segmentos censales parecidos. De hecho, la mayoría está rodeada

completamente por otros segmentos censales con características sociales y económicas similares.

En el caso de los hogares de ingresos bajos, estos se concentran en distritos como: San José de la Montaña (30,6%) y San Pedro (27,5%) de Barva, Jesús (30,3%), Santo Domingo (29%) y Puraba (29,8%) de Santa Bárbara. Como se muestra en la figura 7, es posible apreciar claramente la heterogeneidad de los distritos, dado que hacia el centro de la zona se concentran los distritos que tienen mayor cantidad de hogares, con grandes diferencias respecto a los distritos periféricos. La distribución por estratos dentro de cada distrito muestra una menor heterogeneidad, ya que es notoria una distribución bastante similar: predominio de los estratos 2, 3 y 1.

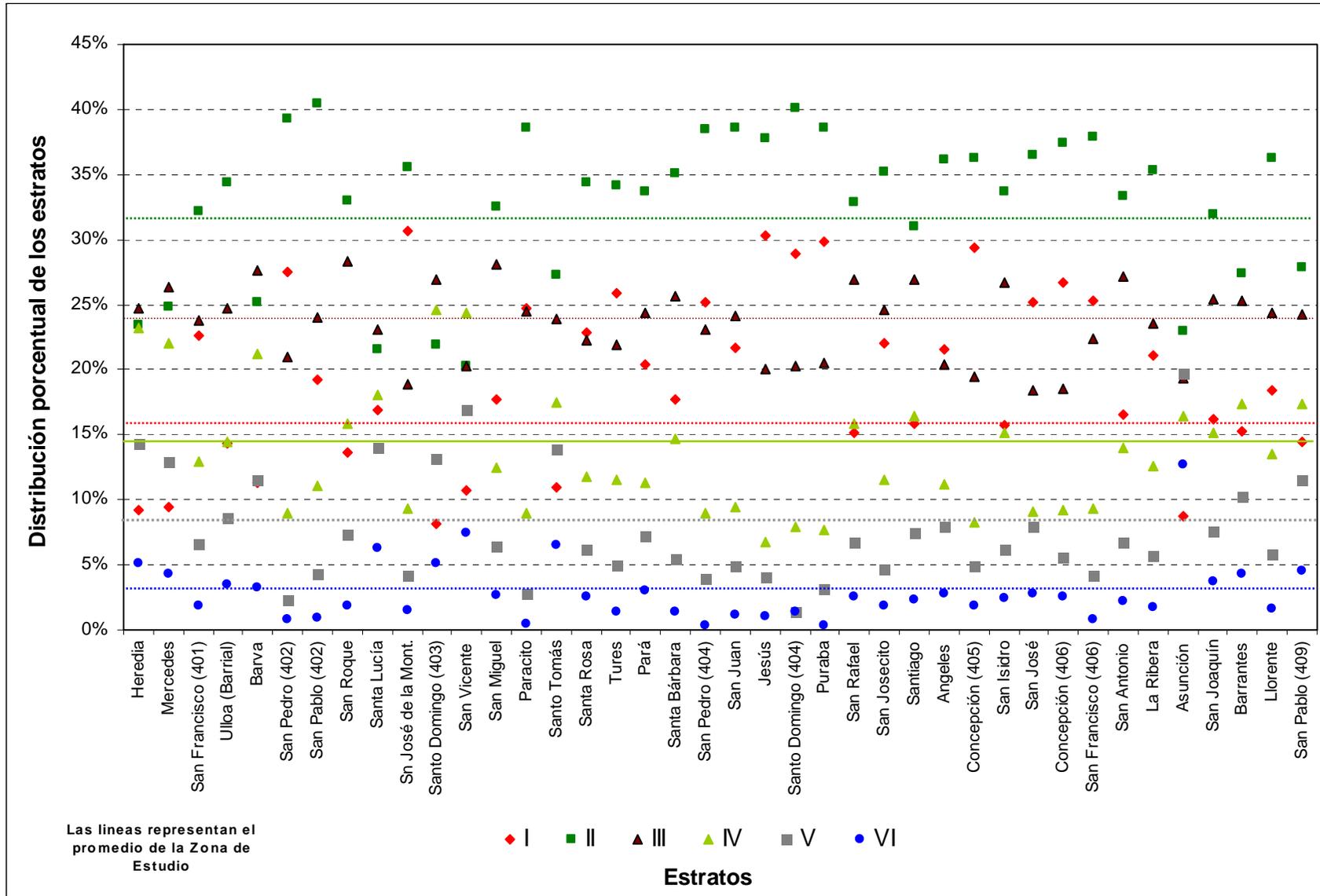
Los datos anteriores son consistentes con los indicadores de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), los cuales muestran que esta es una de las zonas con menor porcentaje de viviendas con carencias. En términos generales, el 78% de las viviendas de la zona de estudio no presentaron necesidades básicas insatisfechas, un 18% presentó una, un 3,5% dos y menos de un 1% de las viviendas tenía más de 3 carencias. Si se analiza en términos del tipo de NBI, se tiene que un 10% presentó de Saber siendo la más persistente, un 8,3% de albergue, un 6,12% de Consumo y un 3,1% de Higiene. Algunas de estas necesidades podrían deberse a la ausencia de inversión en infraestructura sanitaria en lugares de la zona de estudio, en parte causada porque se trata de zonas que inicialmente fueron ocupadas en precario y que no eran adecuadas para el desarrollo urbano

Como se muestra en la figura 8, los distritos con menor incidencia de hogares con al menos una NBI son Barva (13,8%), Heredia (15%) y Mercedes (14%) en el cantón de Heredia, Asunción en Belén (14,6%) y San Vicente en Santo Domingo (15,2%). Por el contrario, en los distritos de San Pedro de Santa Bárbara (30,4%), San José de la Montaña en Barva (31,1%), Concepción de San Isidro (33,7%) y Santo Domingo en Santa Bárbara (37,7%) se concentran los mayores porcentajes de carencias, duplicando a los distritos de menor porcentaje.



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Figura 7. Distribución porcentual de los hogares de la zona de estudio por estrato socioeconómico según distrito



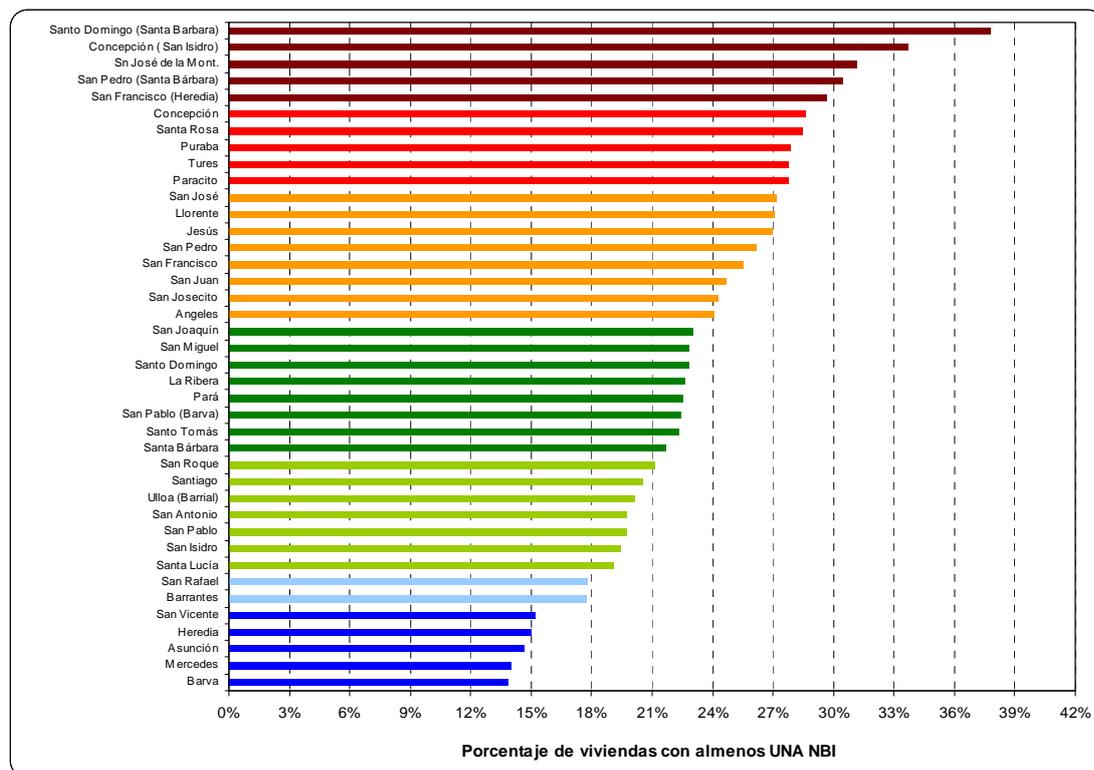
Fuente: INEC y Madrigal (2002)



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Como se muestra en la figura 8, aunque las mayores proporciones (incidencia) de pobres se localizan en zonas aisladas, rurales y periféricas, como en Santa Bárbara o San Isidro, las mayores concentraciones de pobres (número absoluto de personas pobres) se dan en zonas urbanas de Heredia.

Figura 8. Porcentaje de viviendas con al menos una NBI según distrito de la zona de Estudio



Fuente: INEC

3.7. Características de las personas empleadas en la zona de estudio

El mercado laboral de la zona muestra una estructura muy diferente al resto del país, donde la actividad industrial era en el año 2000, la principal fuente de empleo, agrupando a poca más del 22% de todas las personas empleadas, y en distritos como San Juan de Santa Bárbara, Llorente de Flores, así como San Antonio y La Ribera en Belén, estos valores superan el 30% (véase cuadro 7).

El Sector Público se convierte en la segunda fuente de empleo de la zona, una de cada cinco personas se encontraban empleadas en el año 2000 dentro de este sector, y una de cada cuatro en distritos como Heredia y Mercedes, Barva, Santo Domingo y San Pablo. Por su parte, la actividad comercial excluyendo hoteles y restaurantes, empleaba al 18,5% de los trabajadores de la zona, mientras que el sector inmobiliario al 8,6% y la construcción al 7%. Esta es una de las zonas del país con menor participación del sector agrícola, menos de un 5% de las personas empleadas trabajan en el año 2000 en alguna actividad relacionada con el sector primario. Los distritos más agrícolas de la zona son San José de la Montaña (31,5%) y Santo Domingo de Santa Bárbara (23,4%).

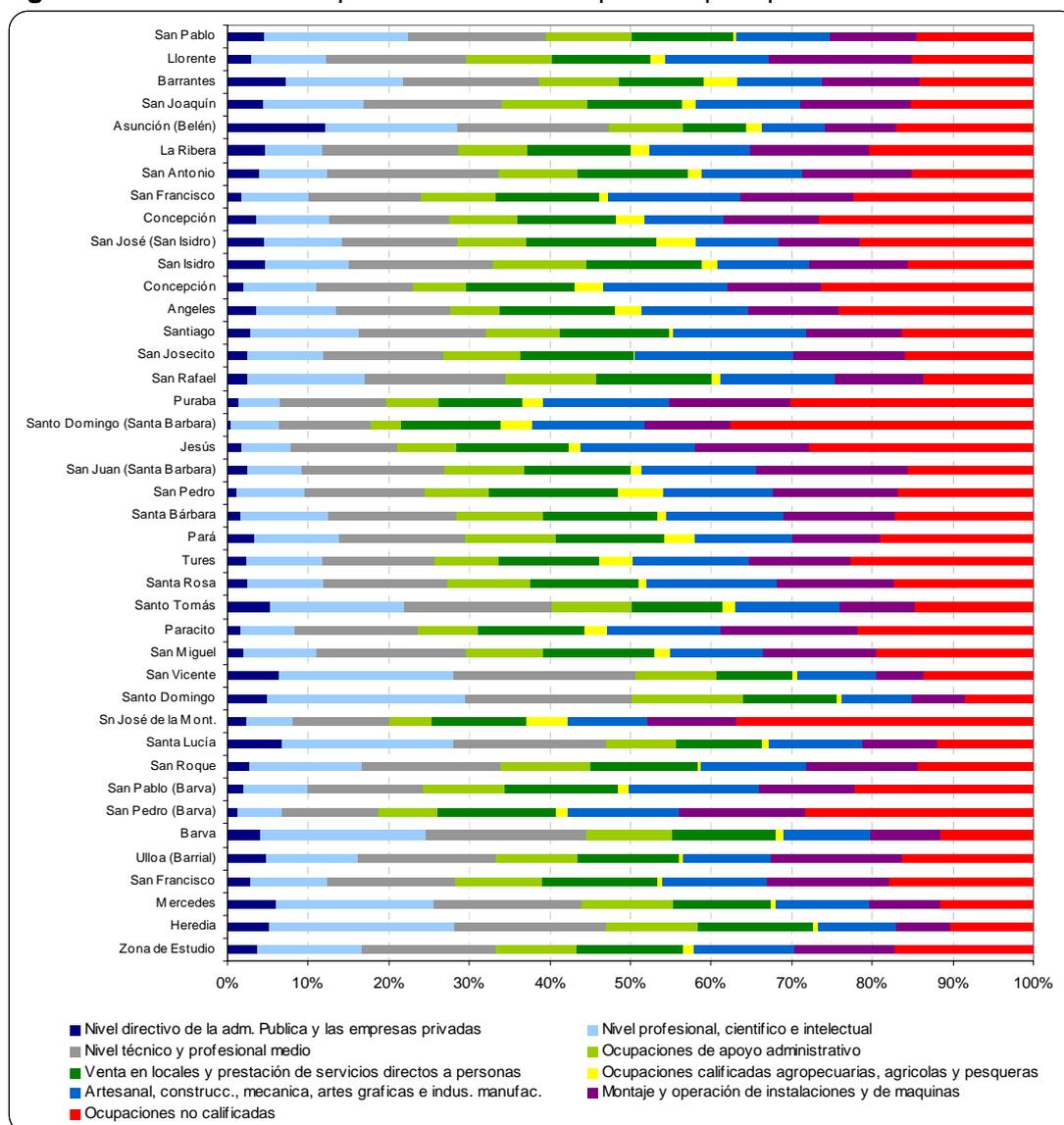
Cuadro 7. Distribución porcentual de los empleados por actividad económica

Cód.	Distrito	Sector primario	Construcción	Industria	Comercio	Hoteles y restaurantes	Inmobiliario y financiera	Sector público	Transporte	Otros
Zona Estudio		4,76%	7,04%	22,09%	18,44%	4,57%	8,66%	20,07%	6,74%	7,62%
40101	Heredia	1,48%	3,55%	16,10%	19,36%	5,02%	11,41%	30,91%	5,15%	7,01%
40102	Mercedes	2,11%	6,20%	16,82%	18,63%	3,56%	11,14%	27,45%	7,18%	6,90%
40103	San Francisco	1,37%	7,41%	27,80%	18,35%	4,65%	8,97%	17,81%	6,34%	7,30%
40104	Ulloa (Barrial)	3,20%	6,68%	29,27%	17,92%	4,06%	9,55%	15,43%	7,22%	6,68%
40201	Barva	1,33%	4,89%	15,37%	19,79%	3,40%	8,62%	33,03%	6,70%	6,86%
40202	San Pedro	7,89%	8,86%	21,43%	24,97%	3,41%	5,22%	13,81%	7,72%	6,69%
40203	San Pablo	8,76%	8,14%	20,73%	21,76%	3,09%	6,09%	17,98%	6,46%	6,99%
40204	San Roque	3,28%	5,77%	20,50%	18,54%	3,82%	7,63%	26,71%	9,32%	4,44%
40205	Santa Lucía	3,66%	8,12%	18,82%	17,04%	2,58%	9,46%	25,97%	6,61%	7,74%
40206	Sn José de la Mont.	31,55%	6,28%	10,32%	13,72%	4,40%	5,20%	13,21%	5,42%	9,89%
40301	Santo Domingo	2,12%	3,32%	13,34%	20,22%	4,04%	13,53%	28,41%	6,55%	8,47%
40302	San Vicente	4,15%	4,98%	14,01%	17,78%	3,19%	15,22%	25,94%	5,89%	8,84%
40303	San Miguel	6,23%	7,40%	16,91%	21,39%	4,35%	10,04%	14,89%	8,83%	9,96%
40304	Paracito	7,08%	5,53%	24,18%	23,49%	2,94%	8,64%	11,57%	7,94%	8,64%
40305	Santo Tomás	5,38%	6,47%	15,53%	19,12%	4,20%	11,05%	21,81%	7,37%	9,07%
40306	Santa Rosa	4,57%	7,37%	26,94%	19,52%	4,45%	8,53%	14,79%	6,34%	7,50%
40307	Tures	9,56%	10,96%	15,74%	16,53%	5,48%	8,57%	16,63%	6,57%	9,96%
40308	Pará	6,37%	6,27%	20,59%	21,63%	4,18%	10,45%	16,61%	6,69%	7,21%
40401	Santa Bárbara	3,64%	6,46%	24,14%	17,37%	5,51%	7,42%	22,17%	6,46%	6,82%
40402	San Pedro	11,42%	6,66%	24,32%	15,69%	6,49%	4,60%	18,32%	8,63%	3,86%
40403	San Juan	3,44%	6,45%	32,25%	18,46%	4,61%	6,50%	13,89%	8,29%	6,12%
40404	Jesús	9,81%	10,48%	24,77%	19,10%	3,63%	5,66%	12,40%	6,07%	8,07%
40405	Santo Domingo	23,40%	12,04%	13,82%	13,62%	2,96%	3,85%	9,48%	6,42%	14,41%
40406	Puraba	14,52%	12,24%	23,70%	14,05%	4,24%	3,92%	11,77%	7,30%	8,24%
40501	San Rafael	2,68%	6,66%	20,63%	19,16%	6,39%	7,56%	22,23%	7,35%	7,35%
40502	San Josecito	2,05%	9,98%	23,89%	20,84%	4,48%	7,04%	19,15%	6,66%	5,91%
40503	Santiago	1,77%	9,18%	20,44%	18,67%	5,16%	8,73%	20,70%	8,05%	7,30%
40504	Angeles	10,22%	9,22%	15,60%	14,29%	7,26%	5,99%	15,60%	6,61%	15,21%
40505	Concepción	14,71%	10,14%	18,07%	13,30%	5,84%	5,64%	16,05%	6,65%	9,60%
40601	San Isidro	6,09%	7,97%	17,86%	17,97%	4,43%	7,60%	23,33%	8,07%	6,67%
40602	San José	14,03%	7,38%	15,15%	16,49%	6,20%	9,22%	16,38%	5,70%	9,45%
40603	Concepción	12,77%	7,55%	16,35%	14,84%	3,57%	8,10%	19,92%	5,77%	11,13%
40604	San Francisco	8,49%	9,29%	22,86%	16,98%	3,12%	6,82%	19,01%	6,02%	7,40%
40701	San Antonio	4,84%	6,17%	32,15%	18,70%	7,06%	6,60%	12,31%	5,83%	6,34%
40702	La Ribera	5,79%	7,51%	32,09%	17,52%	7,07%	5,88%	9,04%	6,37%	8,74%
40703	Asunción	4,43%	4,76%	25,21%	14,98%	6,06%	9,25%	16,03%	5,08%	14,20%
40801	San Joaquín	3,73%	7,29%	22,54%	18,56%	4,02%	7,95%	20,71%	7,91%	7,29%
40802	Barrantes	6,99%	4,21%	17,61%	17,51%	4,88%	9,57%	21,72%	9,86%	7,66%
40803	Llorente	3,36%	5,94%	30,39%	16,94%	4,65%	8,01%	16,21%	8,70%	5,80%
40901	San Pablo	2,44%	7,00%	19,02%	18,28%	3,94%	9,29%	26,91%	6,13%	6,98%

Fuente: INEC

Los empleados dentro de la zona de estudio tienen ocupaciones principalmente como nivel técnico y profesional medio (17%), como vendedores de locales y prestación de servicios domésticos (13%), así como nivel profesional, científico e intelectual (12,8%) y ocupaciones relacionadas con la construcción, la mecánica, las artes e industria manufacturera (12,6%) y el montaje y operación de maquinaria (12,3%). Esta es una de las zonas con menor porcentaje de personas empleadas en ocupaciones no calificadas (17,1%), siendo el promedio nacional de un 26,1%.

Figura 9. Distribución porcentual de los empleados por tipo de actividad

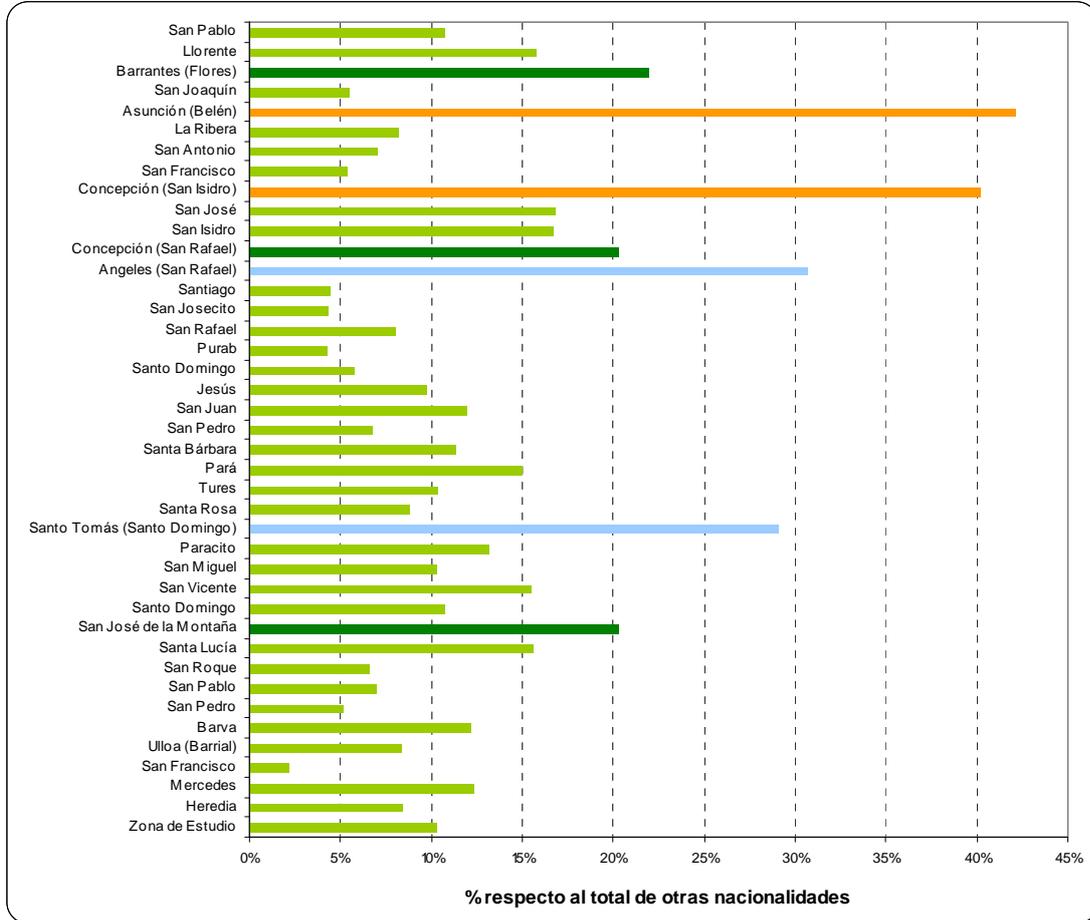


Fuente: INEC

3.8. Presencia de norteamericanos y europeos en la zona de estudio

Alrededor de un 6% de la población de la zona de estudio presentaba en el año 2000 una nacionalidad distinta a la costarricense. De esta población extranjera uno de cada diez era norteamericano (EE.UU. y Canadá) o europeo. Como se muestra en la figura 10, en distritos como Asunción de Belén, el 42% de los extranjeros son norteamericanos o europeos, llegando a concentrar casi el 7% de la población total del distrito en el año 2000. Otros distritos con características similares son Los Ángeles y Concepción de San Isidro, así como Santo Tomás de Santo Domingo y San José de la Montaña en Barva.

Figura 10. Porcentaje de norteamericanos y europeos respecto al total de otras nacionalidades según distrito de la zona de estudio



Fuente: INEC

Sección 4. Costo de transporte y accesibilidad en Heredia

Esta sección trata sobre una evaluación de los patrones espaciales de accesibilidad en el área metropolitana de Heredia. A partir de una descripción teórica de la accesibilidad y empírica de la red vial en Heredia, se plantea un método de análisis espacial para generar mapas que permitan evaluar la accesibilidad relativa. Estos mapas son estimados con datos de Heredia bajo dos condiciones: hora pico y flujo libre. A partir de ellos, se identifican áreas de gran accesibilidad y de poca accesibilidad en la zona de estudio.

4.1. Sistema de carreteras y desarrollo urbano: una relación endógena

El modelo básico de localización residencial (véase Brueckner, 1987) postula un intercambio entre costos por área de vivienda y transporte al trabajo, condicionado por niveles de ingresos y otros determinantes. El costo de transporte, a su vez, claramente depende del sistema de carreteras: de sus condiciones físicas (superficie de ruedo) y de su capacidad, que es función de la cantidad total de vehículos en cada tramo de carretera. Este segundo condicionante es endógeno a la oferta de transporte: dada una oferta fija y una estructura de origen/destino, la cantidad de viajes (demanda) aumenta sostenidamente. Conforme aumenta, aumenta también el tiempo de viaje (costo), lo cual justifica aumentos en la oferta (una decisión pública consecuencia del aumento en los costos de transporte). Al aumentar la oferta, se reduce bruscamente el costo de viajar, lo cual a su vez induce nuevos viajes (viajes que no se realizaban antes por ser muy caros). Este fenómeno, que es de corto plazo, se conoce como demanda inducida. Adicionalmente, la oferta de transporte interactuando con la demanda determina, como se dijo, el costo de transportarse. Este costo, a su vez, es determinante de la localización de actividades (y en particular de nuevas actividades) económicas y de albergue (refiérase a los modelos de localización en las secciones I y II). Pero a su vez es el patrón general de actividades urbanas el que determina la estructura de origen/destino, que a su vez define la demanda de transporte, la cual interactúa con la oferta y determina el costo de transportarse (determinantes de la localización). Así, cambios en la oferta de transporte también inducen desarrollo. Para una discusión al respecto, véanse Cervero (2003) y Noland y Lem (2002).

La accesibilidad, entendida como la capacidad de personas para trasladarse de un punto a otro en una región, es claramente función no solo de la oferta – capacidad de los sistemas de transporte – sino también de la demanda total – la cantidad de personas, y más específicamente de vehículos, que circulan por el sistema. Este resultado es bien conocido del enfoque de modelación de demanda de transporte en cuatro etapas (véase Ortúzar y Willumsen, 2001). Este modelo asigna flujos de transporte a una red con capacidad fija para distintos modos con base en la distribución de todos los pares origen/destino de viajes que los "consumidores" de transporte desean hacer. La asignación de flujos se realiza explícitamente de acuerdo con costos unitarios de transporte que dependen de la cantidad de vehículos en cada enlace.

En este contexto, una pregunta de interés trata sobre el proceso de construcción de carreteras – de definición de la oferta de transporte. Si los aumentos de oferta, i.e. construcción o ampliación de vías, son una respuesta a aumentos en la demanda, entonces están determinados por esta y la relación entre ellos es endógena (pues es un fenómeno conocido que aumentos en la oferta de transporte reducen los costos unitarios, lo cual a corto plazo "induce" demanda adicional y a largo plazo, nuevos desarrollos; véase Cervero, 2003). En cambio, en la medida en que las decisiones de construcción estén determinadas por factores extra-económicos (decisiones políticas, organización comunal, etc.), se reduce el grado de

endogeneidad. Debe tomarse en consideración que la idoneidad de un terreno para desarrollo urbano, y como consecuencia también su probabilidad de ser urbanizado, está esencialmente determinada por su accesibilidad, por lo cual esta relación es endógena también.

4.2. El sistema vial en el norte de Heredia

El sistema vial en la zona de estudio es consecuencia de lo que originalmente fueron caminos de acceso a la campiña cafetalera. No está articulado en torno a ningún eje vial. Las principales carreteras nacionales cruzan la zona por su borde sur: la carretera Braulio Carrillo (ruta nacional 32) que une San José con el Caribe, las rutas nacionales 1 y 3 (conexión de San José con el Pacífico Central y, a través de él, con Guanacaste y el Pacífico Sur), y la ruta nacional 5: esta conecta la ciudad de Heredia con San José. La red vial en la zona de estudio incluye dos niveles de vías (vea mapa 1). Las carreteras principales conectan las cuadrículas centrales de las poblaciones con Heredia centro y la ruta nacional 32:

- Santo Domingo-Heredia por la ruta nacional 5 (única vía primaria, que es parte de un eje radial que conecta San José y Tibás con Heredia), San Rafael-Heredia por medio de la ruta nacional 113, San Isidro-Heredia a través de la ruta nacional 112; y Barva-Heredia a través de la ruta nacional 126
- Santo Domingo con la ruta nacional 32 por medio de las rutas nacionales 116 y 117 (en la intersección de la ruta nacional 117 con la ruta nacional 32, está la población de San Miguel) y San Isidro-ruta nacional 32 a través de la ruta nacional 112

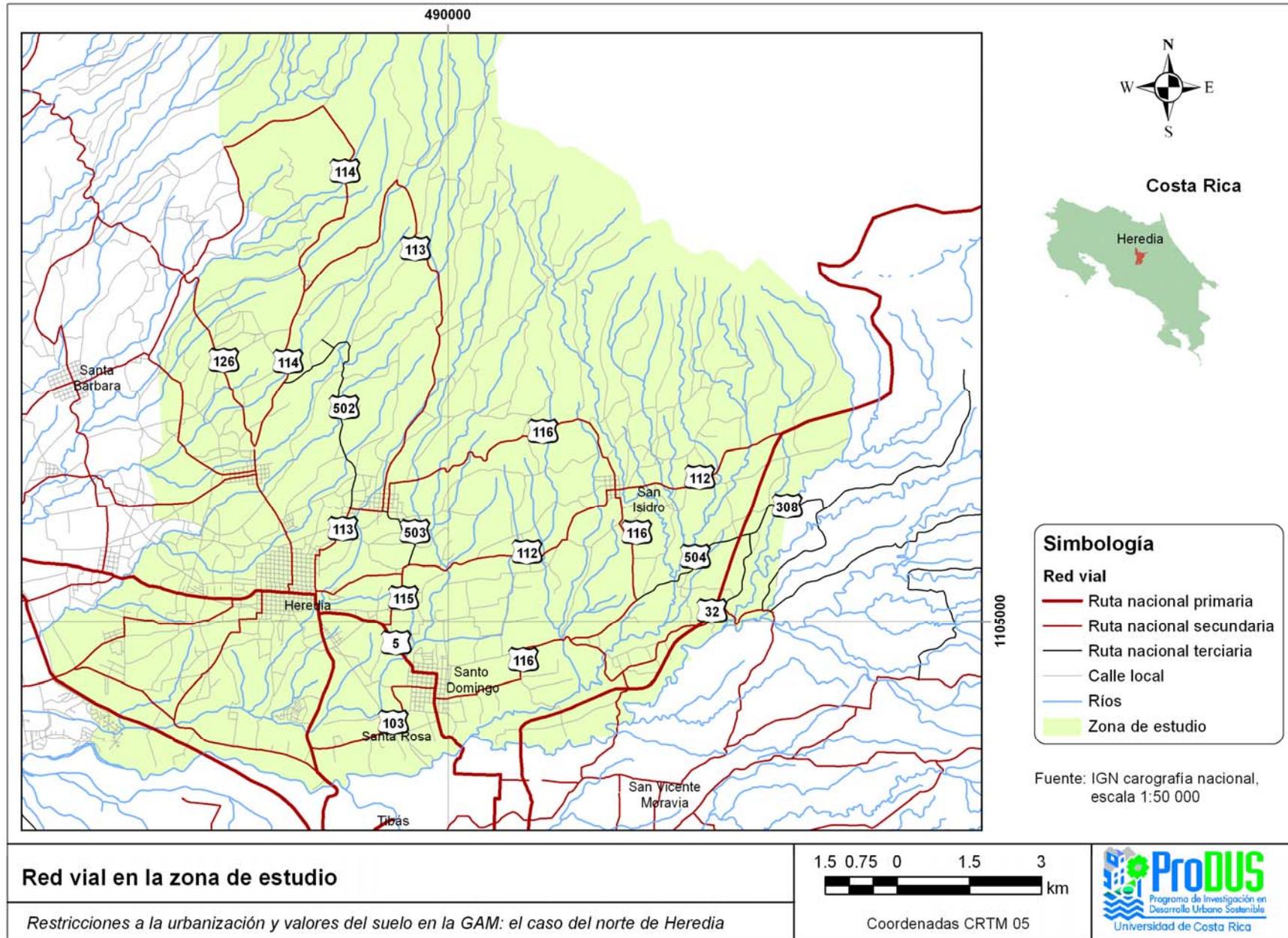
Otras carreteras funcionan como ejes secundarios o conectan estas vías principales entre sí, lo cual le da cierto grado de redundancia al sistema:

- La ruta nacional 116 permite ir de San Isidro a la ruta nacional 117 (y a través de ella hacia la ruta nacional 132) y, siguiendo sobre la misma ruta nacional, hacia Santo Domingo.
- La ruta nacional 115, que es la vía principal de San Pablo de Heredia, también provee una conexión entre las rutas nacionales 5 y 112.

Debe señalarse que, si bien es cierto existe alguna redundancia en la zona, también hay problemas funcionales:

- Las vías norte-sur, en razón del relieve, típicamente tienen peores características físicas que las vías este-oeste (los flujos viales en la zona de estudio son predominantemente este-oeste por la importancia de Heredia y la conexión con San José a través de la ruta nacional 32 pero también se ven reforzados por los diferenciales en las características físicas de las vías).
- Barva, en general, se encuentra aislado del resto de la zona de estudio. El área metropolitana de Heredia (entendida como los nueve cantones del sur de la provincia, menos el distrito de Vara Blanca – i.e. su parte urbana) se divide en tres zonas: hacia el noreste, se encuentra el sistema compuesto por San Rafael, San Isidro, Santo Domingo y San Pablo, que tiene conexiones relativamente eficientes con Heredia centro y San José (aunque actualmente la demanda excede la capacidad de infraestructura en algunas de ellas, particularmente las vías a San José), la sección noroeste está compuesta por Barva, Santa Bárbara y San Joaquín de Flores, y se articula en torno a ejes viales que conectan Heredia con Alajuela (notablemente la ruta nacional 3), y la sección sur, por los distritos al sur de Heredia y Belén. Nótese que desde el punto de vista de desarrollo urbano, Barva es similar al resto de la zona de estudio (más que a Santa Bárbara y Flores); pero desde el punto de vista de interacciones funcionales, está menos integrado que las otras poblaciones.

Mapa 1. Red vial y conectividad en la zona de estudio



Red vial en la zona de estudio

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

El carácter central de Heredia como punto principal de esta red es evidente (véase mapa 1). Igualmente evidente es la importancia de la ruta nacional 32 – que es mucho más reciente (su construcción se completó en 1987). En general, puede concebirse a la red vial en la zona de estudio, topológicamente, como un gran callejón sin salida (con excepción de Barva: a través de este cantón pasan las vías nacionales 119, que conecta con San Joaquín, y 128, que conecta con Santa Bárbara y eventualmente, Alajuela; y la ruta nacional 126, que va hacia el norte). La mayoría de desplazamientos que en ella se realiza corresponden, probablemente, a viajes entre puntos locales o tienen por destino/origen el extremo sur (por el cual pasan todos los ejes que conectan la zona con el resto de la región metropolitana). Existe cierto grado de redundancia para los viajes a lo interno de la región si se aprovechan vías locales y ejes secundarios; pero las vías regionales que conectan Heredia con San José, en general, tienen una demanda que excede su capacidad por lo menos durante algunas horas del día. Aunque existe más de una opción, en la práctica este congestionamiento produce cierto grado de aislamiento de la zona de estudio con respecto al resto de la región metropolitana.

Pendiente y vialidad en la zona de estudio

El mapa 2 muestra la pendiente promedio para los tramos de la red vial regional en la zona de estudio. Los tramos se definieron como la longitud entre la intersección de dos vías regionales. La pendiente se estimó como la altura máxima del tramo menos la altura mínima dividida por la longitud del tramo.

Puede verse que los principales ejes este-oeste en la zona de estudio tienen pendientes menores al 3%: la ruta nacional 112 que va de la ruta nacional 32 a Heredia, pasando por San Isidro, y el tramo este-oeste de la ruta nacional 116. En cambio, el tramo norte-sur de esa misma ruta tiene una pendiente entre 3 y 5% (igualmente, el tramo de la ruta nacional 166 que sirve como eje alternativo entre San Isidro y San Rafael, que predominantemente va de este a oeste pero parcialmente se orienta en sentido norte-sur). La ruta nacional 504, que en parte por esta razón es una vía esencialmente local, podría formar un eje este-oeste junto con la ruta nacional 116 entre Santo Domingo y la ruta nacional 32; pero a diferencia del tramo este-oeste de la ruta nacional 116, tiene una pendiente mayor al 3%.

Otras vías de baja pendiente incluyen las rutas nacionales primarias (5 y 32). En cambio, la conexión norte-sur que es la ruta nacional 115 y la ruta nacional 113 (San Rafael-Heredia) ambas tienen pendientes mayores al 3%. Mención especial merecen las rutas nacionales 113-114 y 502, que podrían comunicar el norte de Barva con San Rafael. Pero tienen pendientes mayores al 5%, lo cual es un buen indicador de su carácter local.

4.3. Hacia un índice de costos de transporte: insumos para su elaboración

La estimación de los tiempos de viaje en Heredia se fundamenta en la capacidad física de las vías para permitir velocidades en flujo libre relativamente altas. Las vías del sistema regional tienden a presentar flujos mucho mayores que las vías locales; esto significa que la interferencia (demora adicional) de las intersecciones¹⁵ sobre viajes que predominantemente ocurren sobre vías regionales es menor que en viajes sobre la red local. Adicionalmente, existen en Costa Rica sistemáticos problemas de interconexión entre las redes viales de urbanizaciones vecinas. Generalmente, para un desarrollo, las conexiones con las vías principales son los únicos

¹⁵ En el caso de intersecciones Alto-Ceda, el flujo predominante va generalmente sobre la vía regional; los volúmenes opuestos son, entonces, menores para las maniobras desde esta – en particular para seguir directo. En intersecciones con semáforo, es de esperar que la fase más larga del ciclo del semáforo corresponda a transitar directo sobre la vía regional.

accesos de modo que los viajes hacia centralidades urbanas casi necesariamente involucran algún tramo de la red regional.

Bajo estas simplificaciones, se supone en el modelo que cualquier viaje se realiza de la siguiente forma¹⁶: desde su hogar, ubicado en alguna urbanización, el usuario se dirige al tramo de red vial regional más cercano. Se desplaza para ello sobre una superficie uniforme que le permite ir a 60 KPH. Una vez sobre el sistema regional, el usuario se dirige hacia su destino final (o hacia el punto más cercano de la red regional a este, a partir del cual sale hacia su destino final). Las velocidades del sistema regional se han estimado bajo dos series de supuestos:

- Que la circulación es igual a la predicha por el modelo de cuatro etapas calibrado para la Gran Área Metropolitana (Castro et al., 2007)
- Que la circulación ocurre en flujo libre – al máximo posible que se puede desarrollar en un vehículo conducido por una persona promedio

Los destinos finales seleccionados incluyen el más cercano de los siguientes puntos centrales: las cuadrículas centrales de Heredia y Santo Domingo, el puente sobre el río Virilla de la ruta nacional 32 (acceso a San José) y la intersección sobre la ruta nacional 1 que da acceso a San Antonio de Belén y su zona industrial.

4.4. Análisis espacial en la construcción de un índice de accesibilidad

El análisis de accesibilidad se operacionaliza estimando, para todos los puntos en el espacio dentro de la ciudad de Heredia, el tiempo que se dura en llegar a las centralidades indicadas. Esto se realiza calculando el costo de viaje acumulado hacia esas centralidades, combinando dos superficies de costos unitarios (por metro) de transporte y utilizando la herramienta *Cost Distance* del programa ArcGIS 10.0.

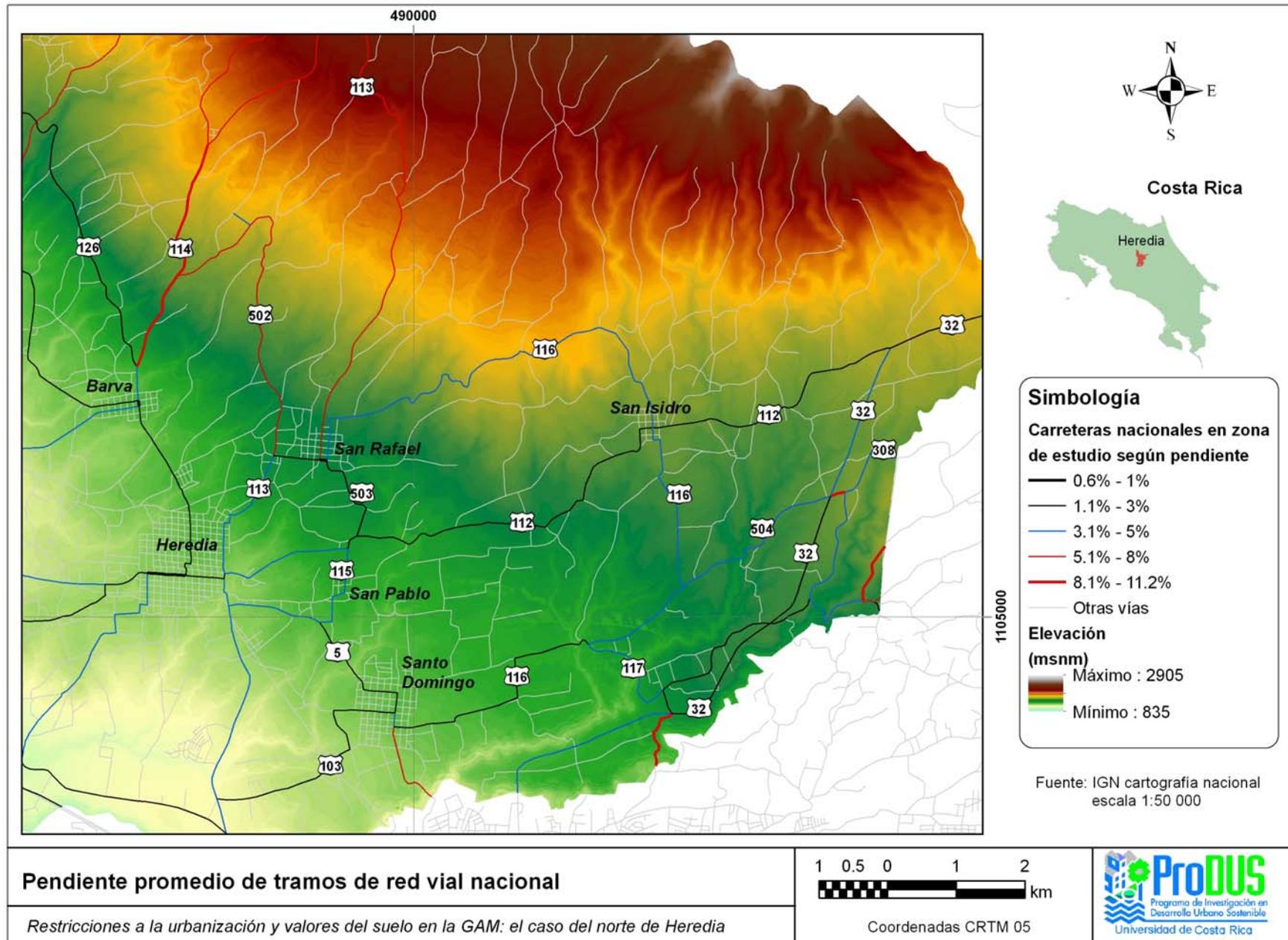
La herramienta aplica un algoritmo de acumulación de costos de transporte unitarios sobre un espacio continuo (que se idealiza como una matriz de celdas cuadradas donde el valor de trasladarse sobre la celda es asignado a ese espacio). La figura 1 muestra un ejemplo, suponiendo costos unitarios y una matriz de celdas cuadrados de lado L – que es el espacio (i.e. cada celda de L x L metros tiene un par de coordenadas geográficas que dan su ubicación).

La distancia entre la celda B y el punto central A es igual a tres veces L (para ir del centro de B al centro de A: L/2 para llegar del centro de B al borde de la celda; 2*L para avanzar las dos celdas entre ambos puntos y L/2 para ir del borde de la celda A a su centro). Este proceso es repetido para todas y cada una de las celdas. Si para una celda existe más de una opción para llegar a A, el algoritmo asigna como costo el menor valor posible¹⁷. En el caso general, los costos de transporte pueden variar entre celdas (por ejemplo, si por una celda pasa un camino asfaltado, un vehículo puede circular a 60 KPH; si es del lastre, su velocidad solo puede ser de 30 KPH; si no hay camino y la pendiente es baja, esta velocidad se reduce aún más, y si la pendiente es alta, es incluso posible que no pueda utilizarse el vehículo). En este caso, el costo

¹⁶ Esta descripción corresponde a viajes de hogar a destino (donde se realiza la actividad humana). Se mantiene en esta descripción la convención de que cualquier viaje se origina en el hogar y el destino es el otro extremo. Puede generalizarse para viajes entre extremos no residenciales, aunque los mismos principios aplican.

¹⁷ Esto refleja el carácter derivado de la demanda de transporte: dadas varias opciones, el consumidor normal toma la más barata – llegar más rápido a su destino – porque no deriva ningún beneficio de viajar sino de realizar la actividad que desea realizar en su destino.

Mapa 2. Pendientes promedio en tramos de la red vial nacional en la zona de estudio

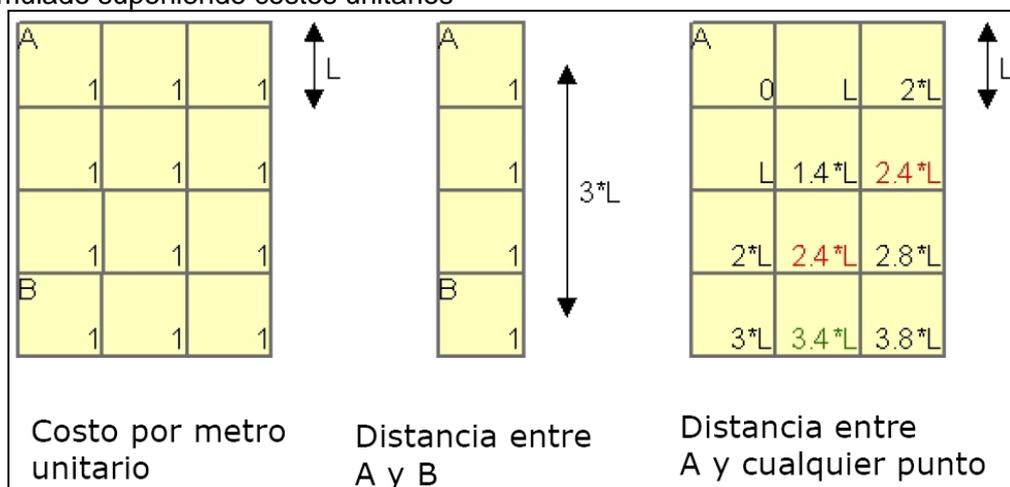




Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

unitario varía de una celda a otra (en lugar de ser 1, como en el ejemplo) y este valor multiplica a L en la determinación del costo de viaje entre A y cada celda.

Figura 1. Ejemplo de aplicación del algoritmo para determinar costos de transporte acumulado suponiendo costos unitarios

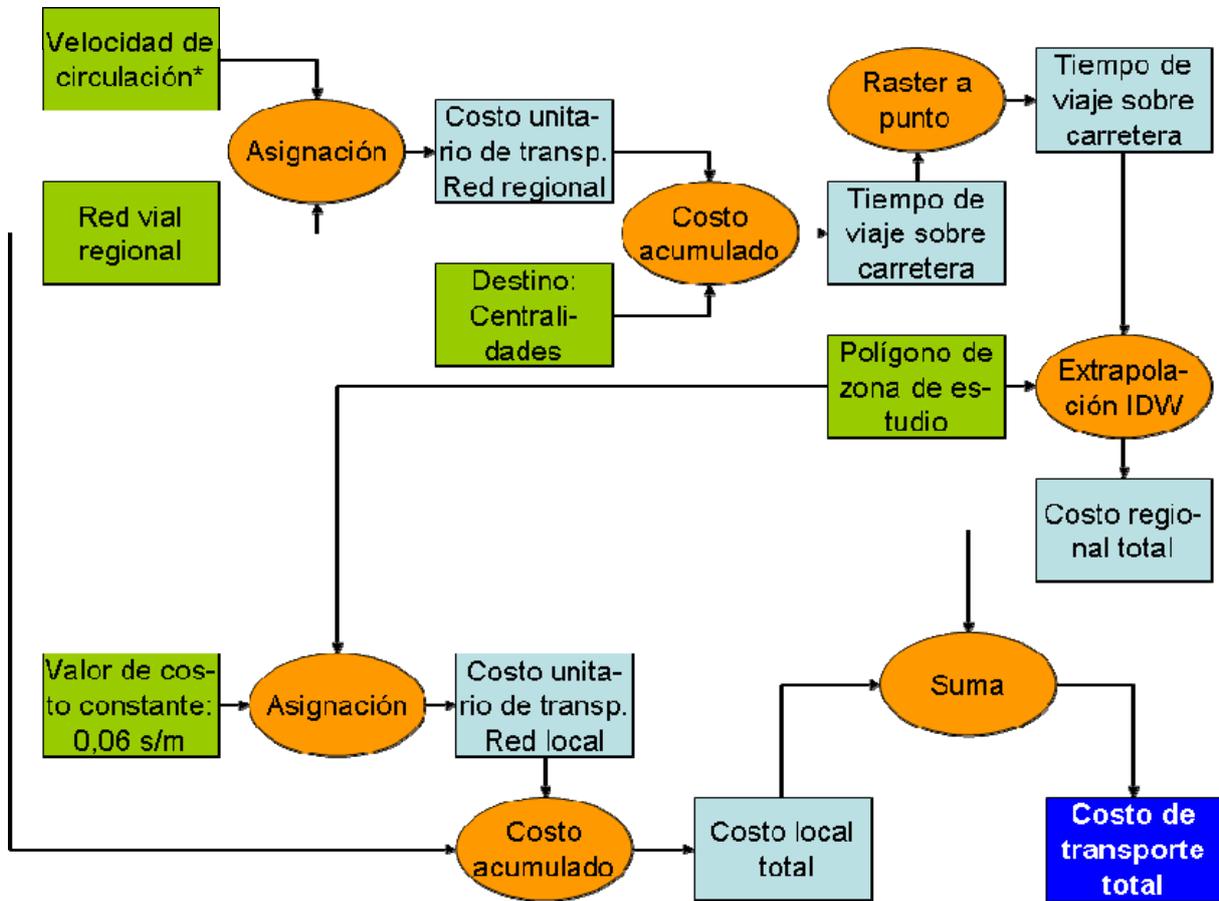


El modelo espacial utilizado para evaluar la accesibilidad en la zona de estudio aplica el algoritmo dos veces: un primero modelo de fase de viaje local (hacia la red vial regional) y un segundo modelo regional (sobre la red regional hacia las centralidades). La figura 2 muestra el proceso completo de estimación y las operaciones que se realizan en el programa para construir las estimaciones de costo acumulado que reflejan la accesibilidad en la zona de estudio. En esencia, este involucra la estimación de los dos modelos:

- El costo acumulado local se determina convirtiendo el área metropolitana de Heredia en una superficie de celdas con un valor de 0,06 s/m (tiempo que toma transitar un metro a una velocidad de 60 KPH). Se aplica el algoritmo y se estima el tiempo acumulado para llegar de cualquier celda a la red vial regional – definida como el conjunto de vías nacionales en Heredia.
- La estimación de costo acumulado de transitar sobre la red vial regional se divide en dos:
 - Para las celdas que están a menos de 30 m. de la red vial regional: se crea un *buffer* de 30 m. alrededor de las vías regionales; se transforma este *buffer* en una cobertura de costos unitarios igual al inverso de la velocidad supuesta para cada tramo de vía (expresado en m/s), que es la cobertura de costos unitarios. Se aplica el algoritmo
 - Para las celdas que están más allá de 30 m. de la red vial regional, se supone que el viaje se realiza desde esa celda a cualquiera de las 12 celdas sobre la red vial regional más cercanas, pesadas por la distancia entre la celda de origen y estos 12 puntos sobre la red vial regional¹⁸.
- La estimación de accesibilidad total de una celda es igual a la suma de ambas coberturas. Nótese que para las celdas a 30 m. de la red vial regional, el costo acumulado local es 0, lo cual refleja la ventaja de su localización.

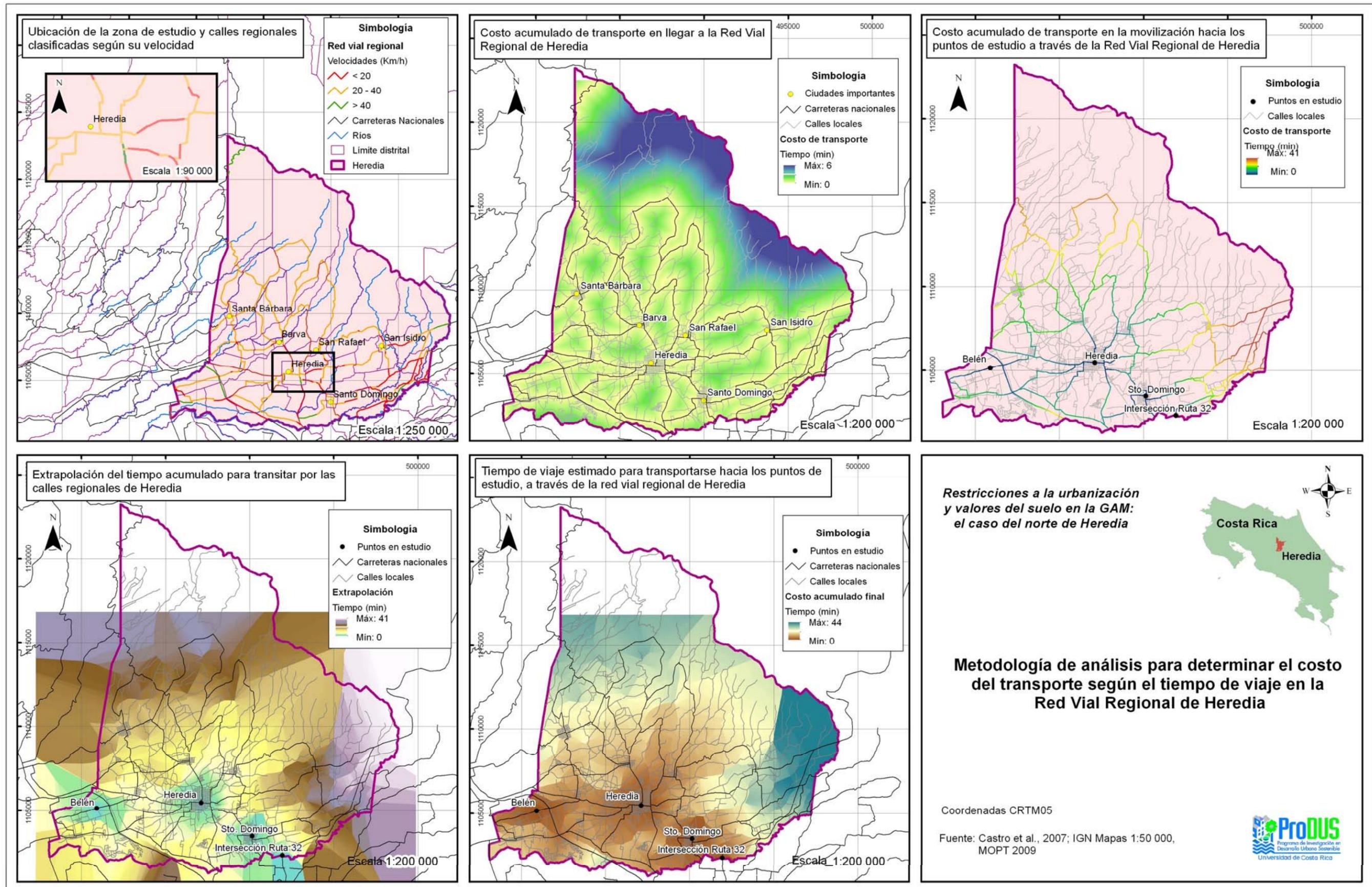
¹⁸ Computacionalmente, esto se logra transformando la cobertura de celdas de la red vial regional (de costo acumulado a centralidades) en puntos y extrapolando a toda el área metropolitana de Heredia con el algoritmo *Inverse Distance Weighted* de ArcGIS 10.0.

Figura 2. Esquema de estimación de accesibilidad en zona de estudio



* Según regla de asignación de velocidades a distintos tramos

Figura 3. Proceso de estimación de coberturas de accesibilidad





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Las figuras 2 y 3 muestran el proceso de cálculo para un ejemplo, con algunos de los mapas intermedios resultantes.

Las velocidades supuestas para el sistema regional se agrupan en dos posibles escenarios de costo: para el costo A (hora pico), se tomó la velocidad predicha por el estudio de transportes de la GAM (Castro et al. 2007), que resulta de la aplicación de un modelo de cuatro etapas a la región metropolitana. Para suavizar los valores y reducir la incertidumbre, estos fueron agrupados: a los segmentos de vía con velocidades predichas entre 0 y 20 KPH, se les asignó un valor de 10 KPH; si la velocidad predicha estaba entre 20 y 40 KPH, se utilizó un valor de 30 KPH, y si era mayor a 40 KPH, se supuso como igual a 60 KPH – reflejando la dificultad de desarrollar velocidades mayores a esta debido a congestión.

El costo B incluye los resultados de una situación sin congestión. Para ello, se supuso que las vías primarias, que tienen mejores características geométricas, permitirían desarrollar hasta 80 KPH. Otras vías del sistema regional tendrían velocidades de circulación de 60 KPH. Los resultados se analizan en la parte 4.5.

4.5. Accesibilidad en congestión y accesibilidad en flujo libre: análisis de patrones espaciales resultantes

Los resultados de estimaciones de accesibilidad se muestran en los mapas 3 y 4 para las dos condiciones estimadas. Como se discutió en la metodología, la estimación de accesibilidad se realiza como el tiempo de viaje más corto a la más cercana de las siguientes centralidades: Heredia centro, zona industrial de Belén-Heredia, el centro de Santo Domingo y el puente sobre el río Virilla de la ruta nacional 32. Los dos patrones resultantes son muy diferentes entre sí, lo cual refleja las limitaciones de la infraestructura existente para acomodar la demanda de transporte de la zona de estudio.

El mapa 3 muestra la accesibilidad relativa en congestión (durante la hora pico) según la simulación de un modelo de cuatro etapas (Castro et al., 2007). Es evidente el grave problema que tiene el sector este de Heredia – en particular, la entrada a San Isidro de Heredia por la ruta nacional 32 (i.e. el acceso de San Isidro a San José). El tiempo de viaje sobre la ruta nacional 32 es mayor a 35 minutos. San Isidro mismo está a aproximadamente 25 minutos pero del centro de Heredia por la vialidad interna de la región. Este es un tiempo de viaje similar al que tomaría ir de Santa Bárbara a la centralidad más cercana (la zona industrial de Belén). Barva, San Rafael y San Pablo todos están a más de 5 minutos de Heredia/Santo Domingo. Es notable que San Pablo esté más o menos al mismo tiempo de viaje de Heredia que los más lejanos Barva y San Rafael – lo cual refleja el carácter metropolitano de la ruta nacional 5 como acceso de Heredia a San José por Santo Domingo. Igualmente, es muy notable que el tiempo de viaje entre el este de San Isidro y la centralidad más cercana (Heredia o el puente sobre el río Virilla) es similar al tiempo de viaje entre el norte de Barva y el centro de Heredia – aunque es posible que el modelo original subestime los problemas de infraestructura física de algunas vías rurales del norte de Barva.

El mapa 4 es notable por tres razones fundamentales. Primero, reflejando las distancias relativamente cortas, el tiempo de viaje máximo en flujo libre se reduce de 45 a 15 minutos. Segundo, debido a la gran capacidad de la ruta nacional 32 para permitir el desarrollo de mayores velocidades, las áreas alrededor de esta vía exhiben un aumento de accesibilidad muy grande. En cambio, las zonas menos accesibles pasan a ser ahora el norte de Barva, San Rafael y San Isidro donde existen las mayores restricciones de red vial. Finalmente, se crea un continuo de área muy accesible entre Heredia y Santo Domingo (que incluye San Pablo)

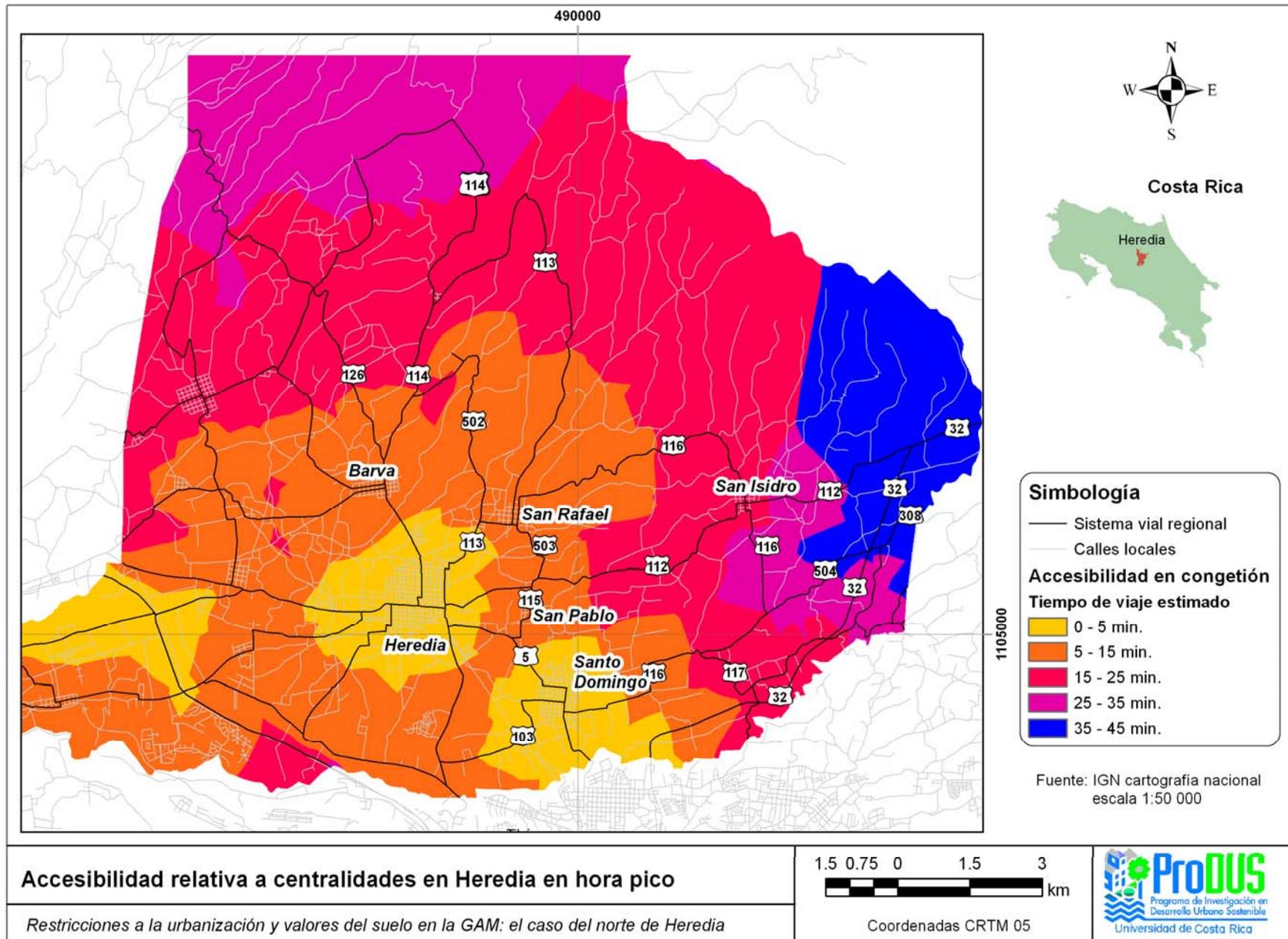


Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

alrededor del eje formado por la ruta nacional 5 – que tiene más accesibilidad que la ruta nacional 32 porque está plenamente integrado a la red vial local.

En síntesis, el mapa 4 permite explicar la preferencia de numerosos conductores por los ejes viales principales para realizar sus desplazamientos. El mapa 3 muestra la condición extrema cuando una mayoría de estos conductores escogen estas vías: un aumento drástico de tiempos de viaje producido por la congestión (exceso de vehículos con respecto a la capacidad física de la vía).

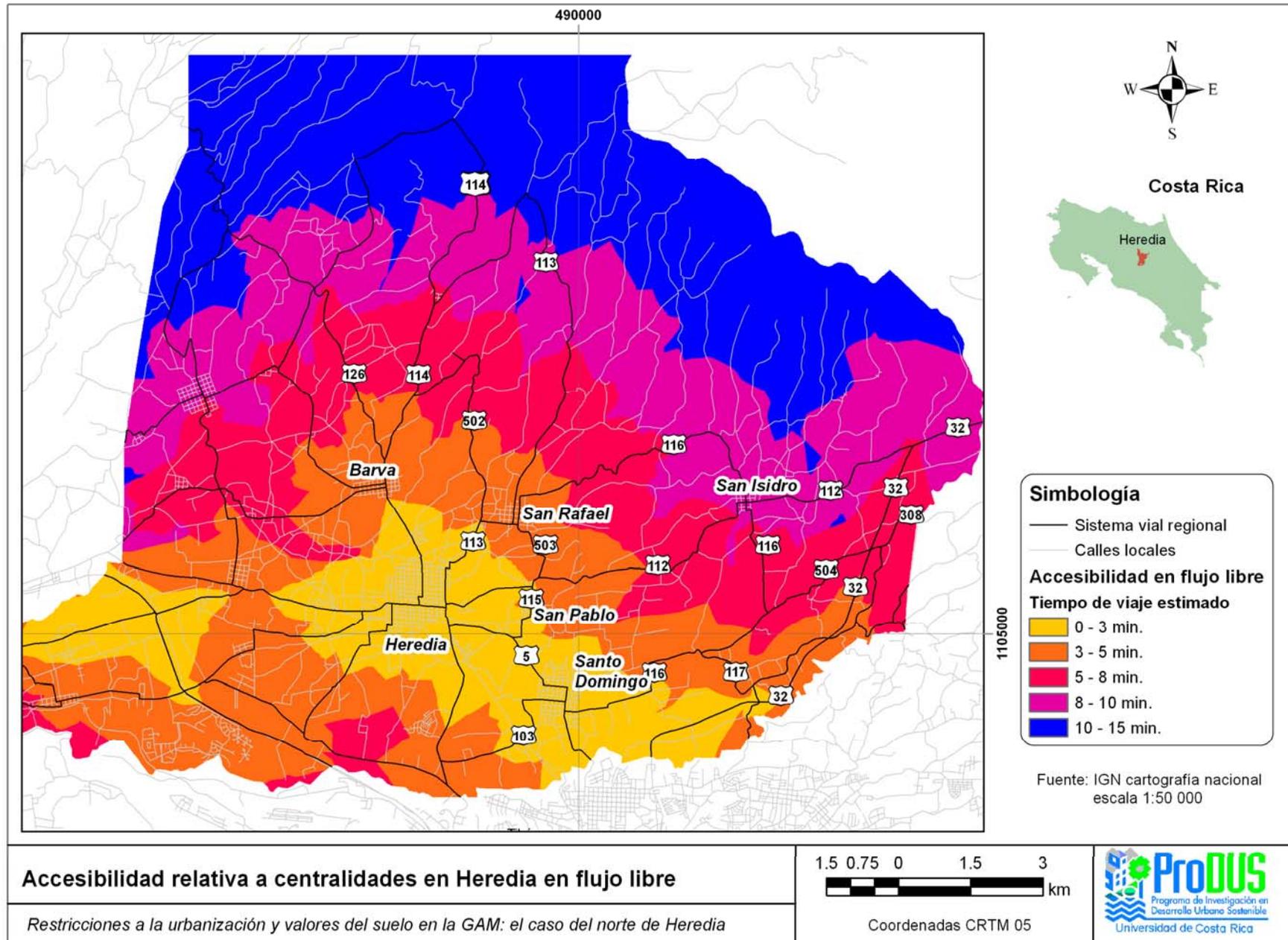
Mapa 3. Accesibilidad al sistema de transportes en el área metropolitana de Heredia. Estimación A: Hora pico





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 4. Accesibilidad al sistema de transportes en el área metropolitana de Heredia. Estimación B: Flujo libre





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Sección 5. Tamaño de las propiedades en la zona de estudio

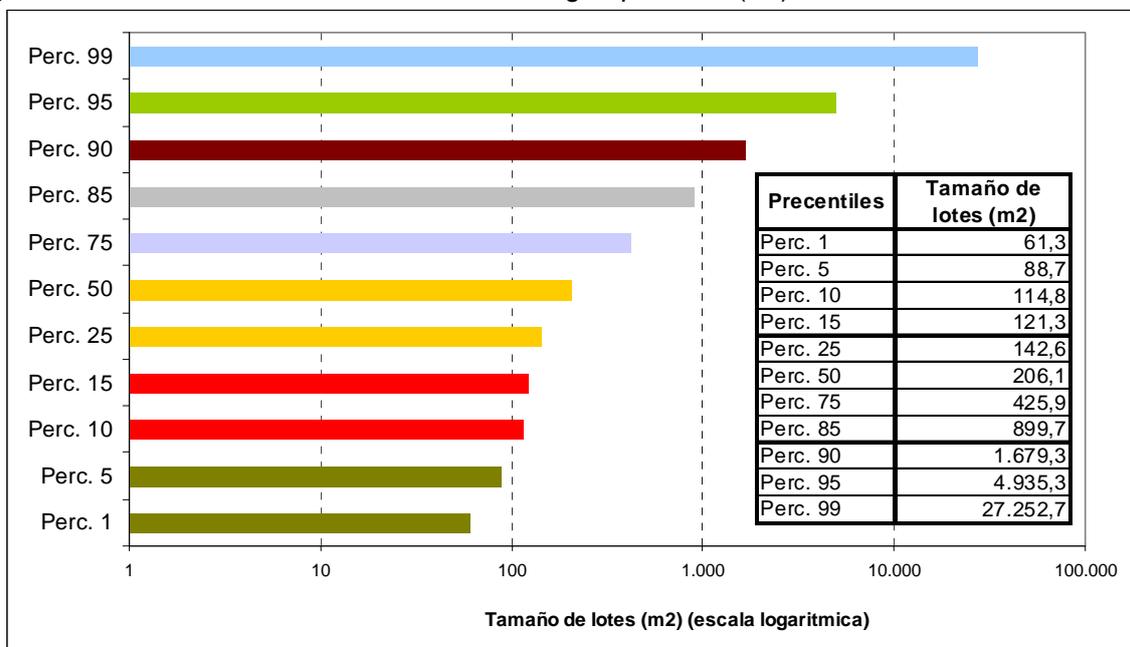
Este apartado trata de describir los tamaños de lote dentro de la zona de estudio, para el análisis se utilizaron los datos de catastro de las municipalidades. Los cantones que se incluyen en el análisis son Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael, San Isidro y San Pablo, así como algunos distritos específicos como Heredia, Barva, Santo Domingo, San Vicente, San Miguel, Para, San Rafael, Concepción de San Rafael, San Isidro y Concepción de San Isidro. Los tamaños de lote analizados, incluyen todos los usos: residencial, comercial y de servicios.

La información del tamaño de los lotes se analizó mediante percentiles, que es una medida de posición no central que nos dice cómo está posicionado un valor respecto al total de una muestra. Los datos se analizaron con todos los tamaños de lotes existentes, sin embargo, no se tomaron en cuenta aquellos lotes con valores menores a 45 m^2 , ya que existen errores en algunos lotes que presentan valores menores a un metro cuadrado. Los mapas generados incluyen solo aquellas zonas donde existía información de catastro disponible, aunque los datos de tamaño de lote están para todos los distritos de la zona en estudio.

5.1. Tamaño de lotes en la zona de estudio

En términos generales, la zona de estudio en conjunto, presenta en el 50% de los casos un tamaño de lote por debajo de los 206 m^2 (mediana) (véase figura 1). Estos valores se ven influenciados por tamaños de lote relativamente menores a este valor ubicados en los cantones de Heredia (158 m^2) y San Pablo (197 m^2), los cuales compensan los mayores valores ubicados en otros cantones como Santo Domingo (286 m^2), San Rafael (357 m^2), Barva (252 m^2), y San Isidro (347 m^2).

Figura 1. Zona de Estudio: Área de lote según percentil (m^2)

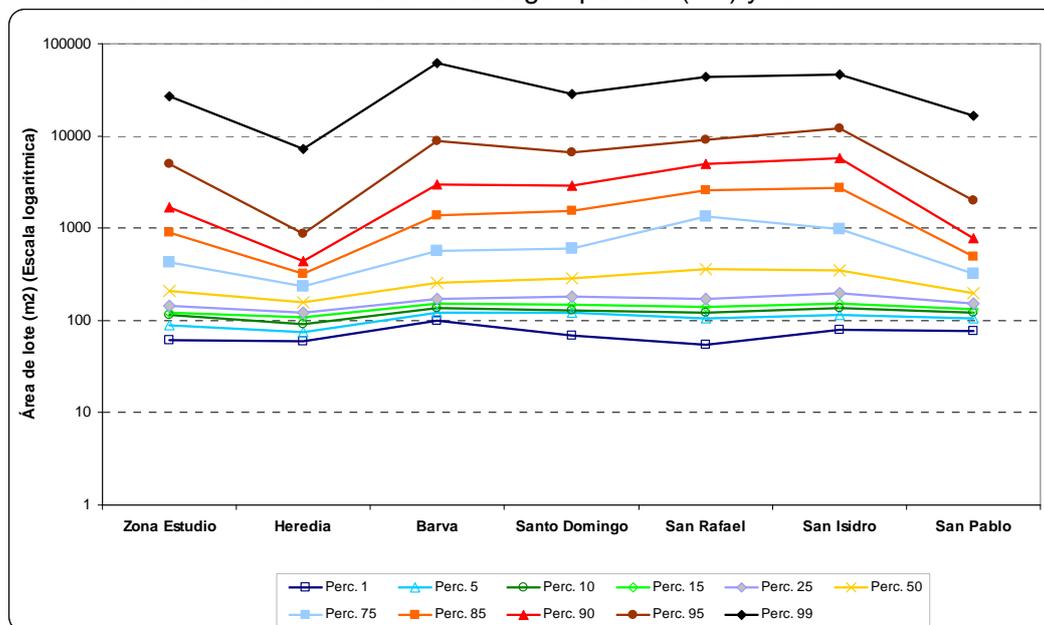


Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Los menores tamaños de lote medidos a través de los percentiles 1, 5 y 10, se encuentran en Heredia, lo cual se explica en parte por una mayor densidad de comercios y servicios que demandan menores espacios en comparación con otros usos (figura 2). El 10% de los lotes en la zona presentan un tamaño por debajo de los 114 m², aunque este valor sigue la tendencia del cantón de Heredia (114 m²) no solo porque representa la mayoría de lotes sino porque sus tamaños en promedio son menores al resto de cantones analizados los cuales se encuentran por encima de los 120 m².

El percentil 85 muestra un tamaño de lote promedio para la zona de estudio de 899m² (véase figura 1), sin embargo con excepción de Heredia (319 m²) y San Pablo (492 m²), el resto de cantones presentan tamaños de lotes mucho mayores en este percentil, como San Isidro (2.729 m²); San Rafael (2.615 m²), Santo Domingo (1.523 m²) y Barva (1370,1 m²). Por su parte, el 95% de los lotes se ubican por debajo de los 4.935 m² para toda la zona, siendo en cantones como San Isidro de 12.101 m², de 9.050 m² en San Rafael, de 8730 m² en Barva y de 6.627 m² en cantones como Santo Domingo. Al igual que con el resto de percentiles, Heredia (862 m²) y San Pablo (1998 m²) muestran los menores valores de área.

Figura 2. Zona de Estudio: Área de lote según percentil (m2) y cantón



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Por último, los tamaños de lotes que se ubican en el percentil 99, es decir el 1% de mayor tamaño, muestran un valor para la zona de estudio de 27.252 m², el cual como se mencionó anteriormente, se ve influenciado por los menores tamaños observados en el cantón central de Heredia, donde el percentil 99 toma un valor de 7.273 m², casi cuatro veces menos que el valor promedio de la zona en estudio. El cantón de Barva (61.722 m²) es el que agrupa los mayores valores bajo este percentil, seguido de San Isidro (45.745 m²) y San Rafael (43.739 m²), mientras que Santo Domingo (28.654 m²) y San Pablo (16.452 m²) muestran valores similares al promedio de la zona de estudio.

Cuadro 1. Zona de Estudio: Área de lote según percentil (m²) y cantón

	Zona Estudio	Heredia	Barva	Santo Domingo	San Rafael	San Isidro	San Pablo
Perc. 1	61	60	101	68	55	80	78
Perc. 5	89	75	120	120	107	116	105
Perc. 10	115	92	137	128	121	135	122
Perc. 15	121	109	153	150	139	151	134
Perc. 25	143	121	170	183	170	199	151
Perc. 50	206	158	252	286	358	347	198
Perc. 75	426	233	569	598	1.335	979	321
Perc. 85	900	319	1.371	1.524	2.615	2.730	492
Perc. 90	1.679	435	3.003	2.902	4.948	5.801	780
Perc. 95	4.935	862	8.731	6.627	9.050	12.101	1.999
Perc. 99	27.253	7.274	61.722	28.655	43.739	45.742	16.453

Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

5.2. Tamaño de lotes en cantones y distritos de la zona de estudio

Como se mencionó anteriormente, el cantón de Heredia muestra los menores valores en tamaños de lote dentro de la zona de estudio. A su interior y como se muestra en la figura 3 y mapa 1, el distrito central concentra los menores valores, producto de una mayor fragmentación para uso comercial y de servicios, el 90% de los lotes se concentran por debajo de los 605 m², siendo la mediana 206 m².

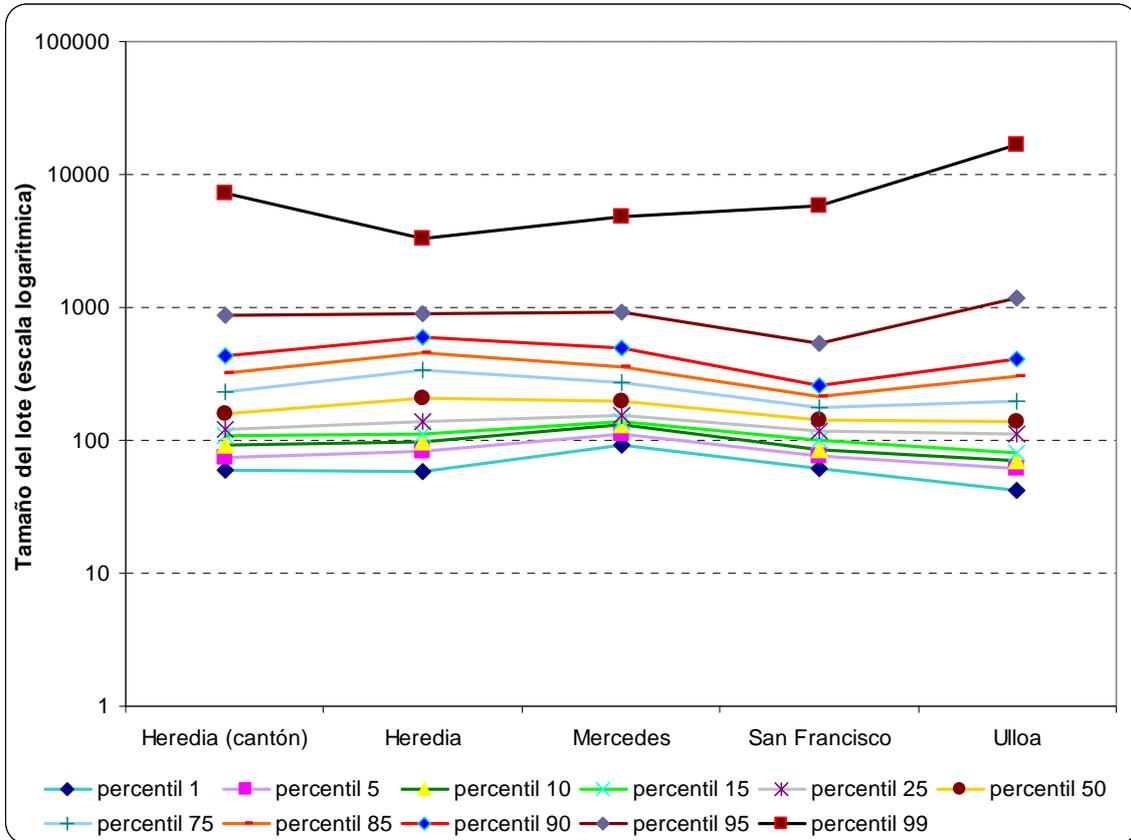
Por su parte Mercedes y San Francisco presentan una mediana de 195 m² y 140 m² respectivamente, y en sus zonas más centrales predominan tamaños de lotes entre los 100 y 300 m². El distrito de Ulloa es el de mayores tamaños de lote dentro de los distritos de Heredia analizados, el percentil 95 supera los mil metros cuadrados mientras que el percentil 99 es de 16.761 m² (véanse figuras 3 a 5 y mapa 2).

Cuadro 2. Cantón y distritos de Heredia dentro de la GAM: Área de lote en m²

Percentil	Heredia (cantón)	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa
percentil 1	60	58	92	62	42
percentil 5	75	82	113	76	61
percentil 10	92	97	130	84	70
percentil 15	109	112	139	101	81
percentil 25	121	139	153	118	112
percentil 50	158	205	195	140	139
percentil 75	233	338	275	176	197
percentil 85	319	459	358	214	301
percentil 90	435	605	492	257	412
percentil 95	862	896	912	542	1.164
percentil 99	7.274	3.250	4.816	5.832	16.762

Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 3. Cantón y distritos de Heredia dentro de la GAM: Área de lote en m²



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 4. Heredia: Área de lote acumulada en m² (versus tamaño de lote)

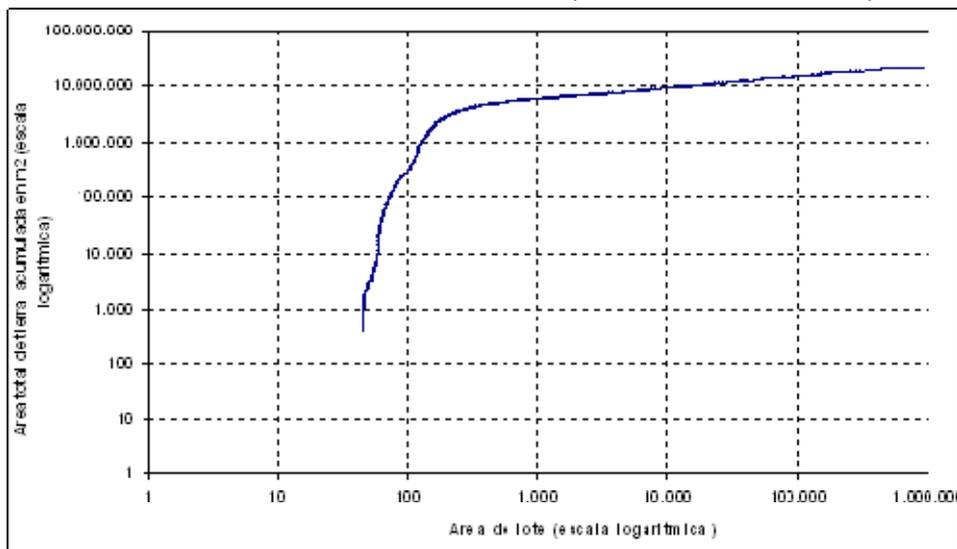
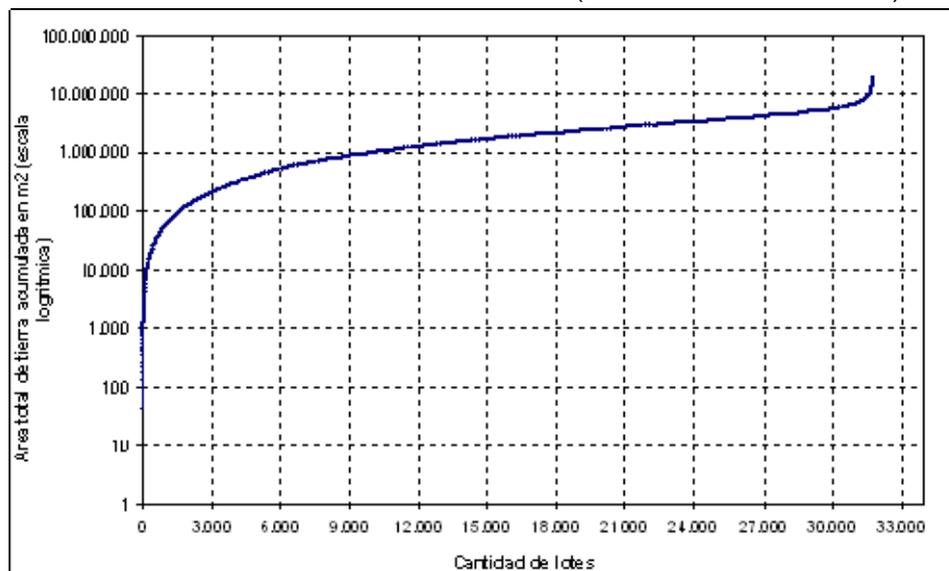


Figura 5. Heredia: Área de lote acumulada en m² (versus cantidad de lotes)



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

En el caso de Santo Domingo, los lotes de menor tamaño se localizan en el distrito central y en la zona más urbana de San Vicente. En el distrito central, el valor de la mediana (percentil 50) es de 256 m², siendo el percentil 15 de 142 m² y el percentil 95 de 1.167 m². San Vicente muestra tamaños de lotes mayores a Santo Domingo, la mediana se ubica en 500 m², mientras que el 15% de los tamaños de lote son menores a los 160 m² y el 95% de los lotes están por debajo de los 9.323 m² (véanse figuras 6 a 8 y mapa 3).

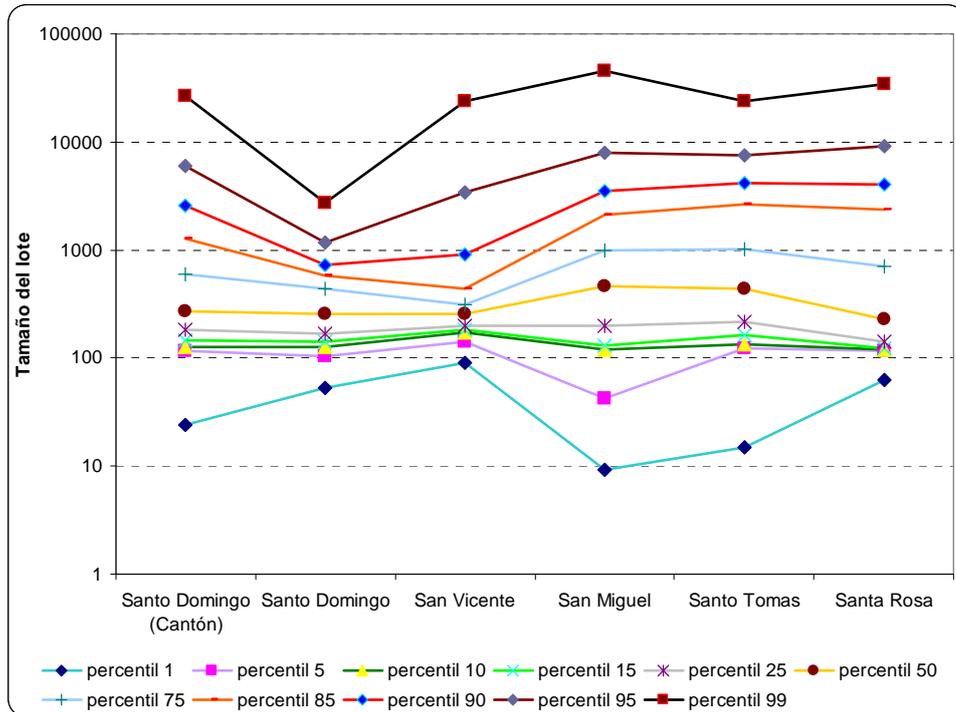
Por su parte, los tamaños de lote en los distritos de Santa Miguel, Santo Tomás y Santa Rosa, responden a su carácter menos urbano y presentan tamaños mucho mayores, especialmente si se analiza los datos por encima del percentil 85. En el caso de San Miguel el percentil 85 es de 2088 m², mientras que en Santo Tomás es de 2.617 m², los cuales son mayores si se compara con los distritos de Santo Domingo (582 m²) y San Vicente (438 m²).

Cuadro 3. Cantón y distritos de Santo Domingo: Área de lote en m²

Percentil	Santo Domingo (Cantón)	Santo Domingo	San Vicente	San Miguel	Santo Tomas	Santa Rosa
percentil 1	24	53	90	9	15	62
percentil 5	117	104	143	42	122	117
percentil 10	125	127	172	120	135	120
percentil 15	145	141	183	132	165	122
percentil 25	183	168	199	200	216	143
percentil 50	271	255	253	466	431	229
percentil 75	598	434	310	980	1.008	710
percentil 85	1.264	582	439	2.088	2.617	2.367
percentil 90	2.578	727	898	3.475	4.172	4.003
percentil 95	5.973	1.163	3.460	7.956	7.578	9.084
percentil 99	26.939	2.697	23.637	45.872	23.647	34.384

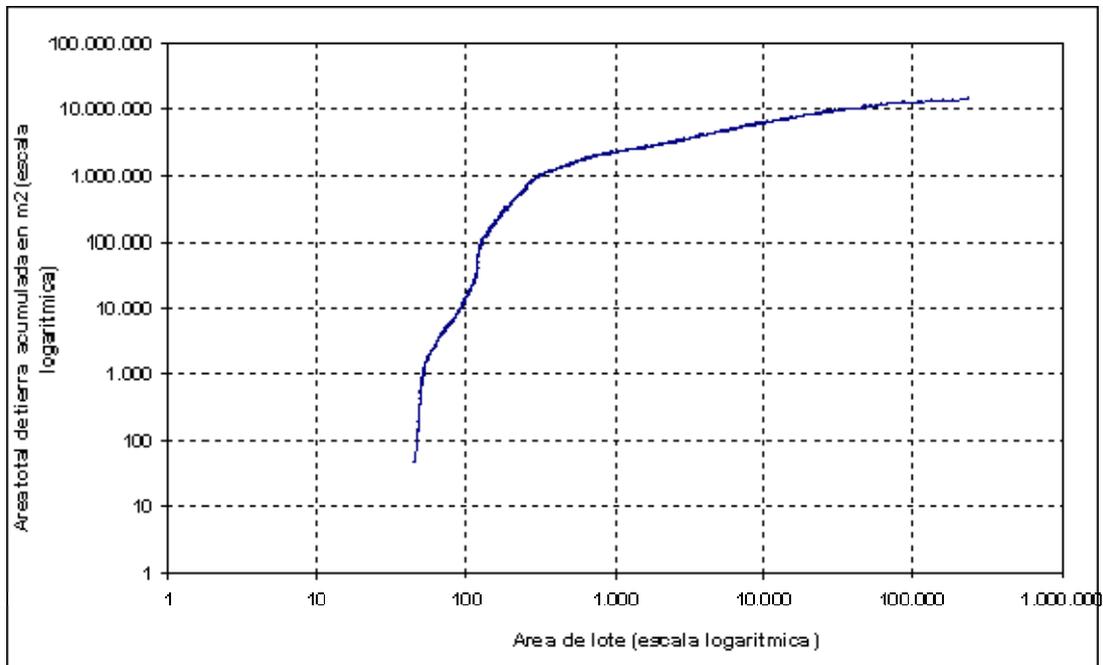
Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 6. Cantón y distritos de Santo Domingo: Área de lote en m²



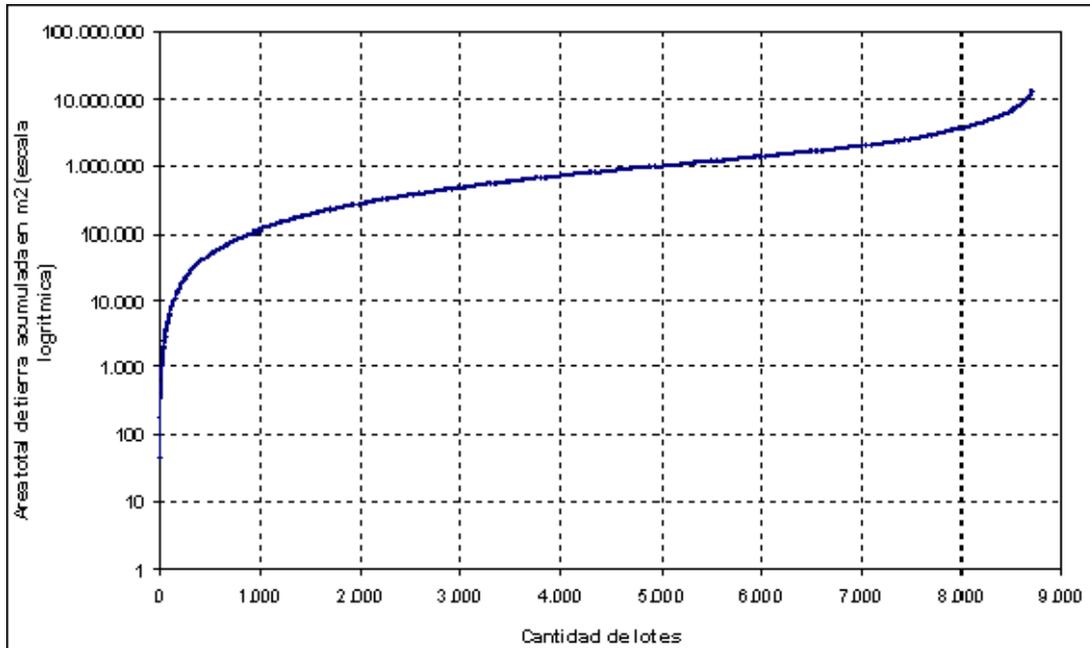
Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 7. Santo Domingo: Área de lote acumulada en m² (versus tamaño de lote)



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 8. Santo Domingo: Área de lote acumulada en m² (versus cantidad de lotes)



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

En el caso de San Pablo, se analizaron cerca de 8.500 lotes, el 70% de estos lotes mostraba un tamaño entre los 133 m² y los 507 m² (35% entre 133 m² y 197 m² y 35% entre 198 m² y 507 m²). El 10% de los lotes presentaba un tamaño menor a los 133 m², mientras que el percentil 99 era de alrededor de 17.423 m² (véanse figuras 9 a 11 y mapa 4).

Figura 9. Cantón de San Pablo: Área de lote en m²

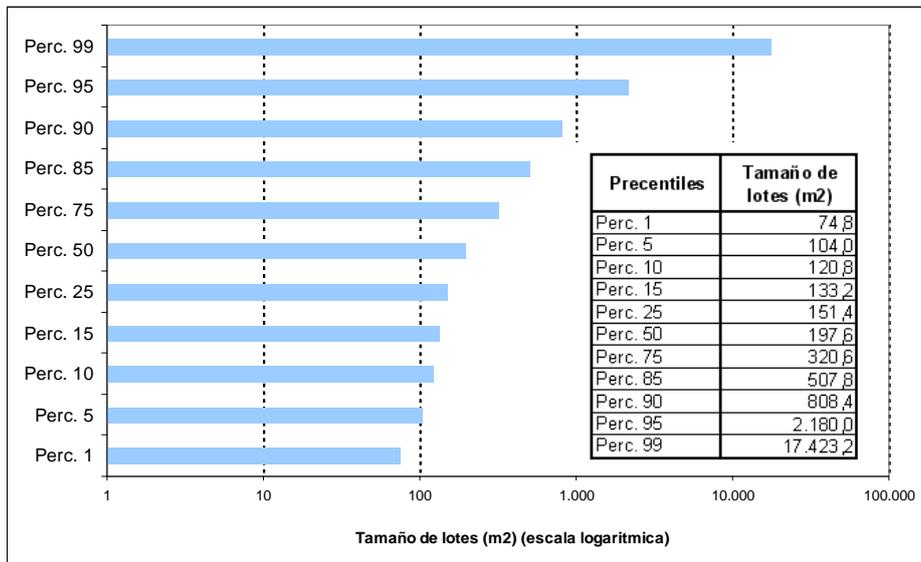


Figura 10. San Pablo: Área de lote acumulada en m^2 (versus tamaño de lote)

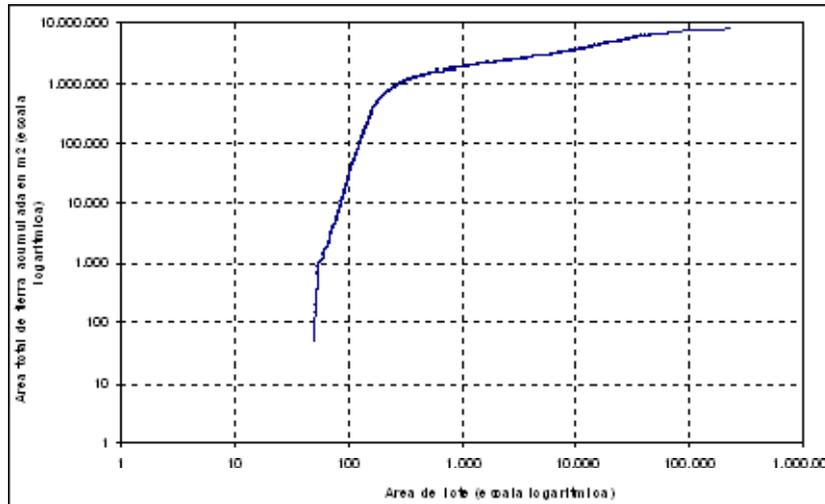
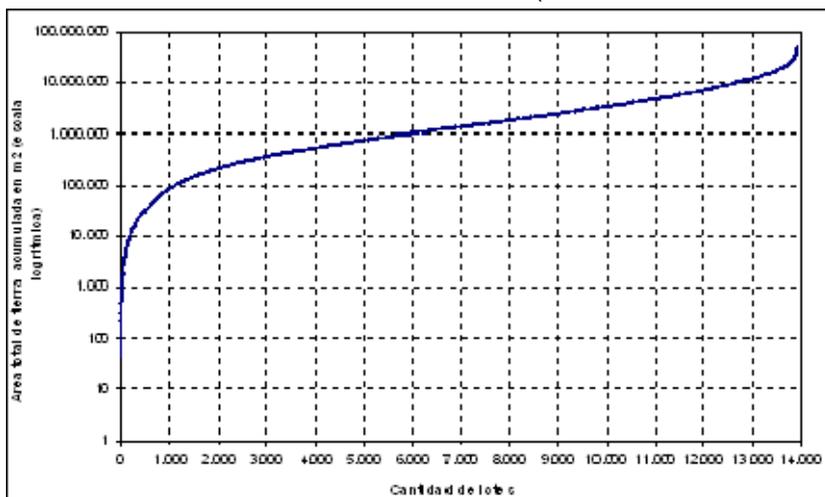


Figura 11. San Pablo: Área de lote acumulada en m^2 (versus cantidad de lotes)

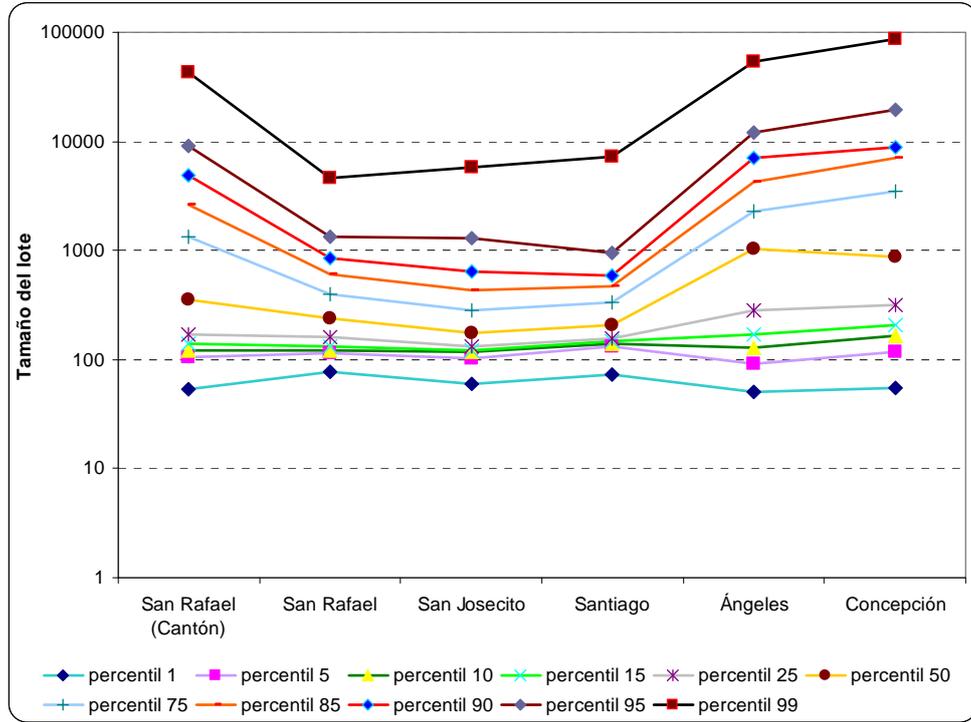


Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Como es de esperar los menores tamaños de lotes dentro del cantón de San Rafael se localizan en el distrito central, en San Josecito y en la zona urbana del distrito de Santiago. En el caso del distrito de San Rafael, el percentil 50 tenía un valor de $233 m^2$, es decir, el 50% de los lotes tenían un tamaño menor a $233 m^2$, mientras que el percentil 90 mostraba un tamaño de lote de $832 m^2$, y de acuerdo con el percentil 99, el 99% de los lotes se ubicaba por debajo de los $4.685 m^2$ de área (véanse figuras 12 a 14 y mapa 6).

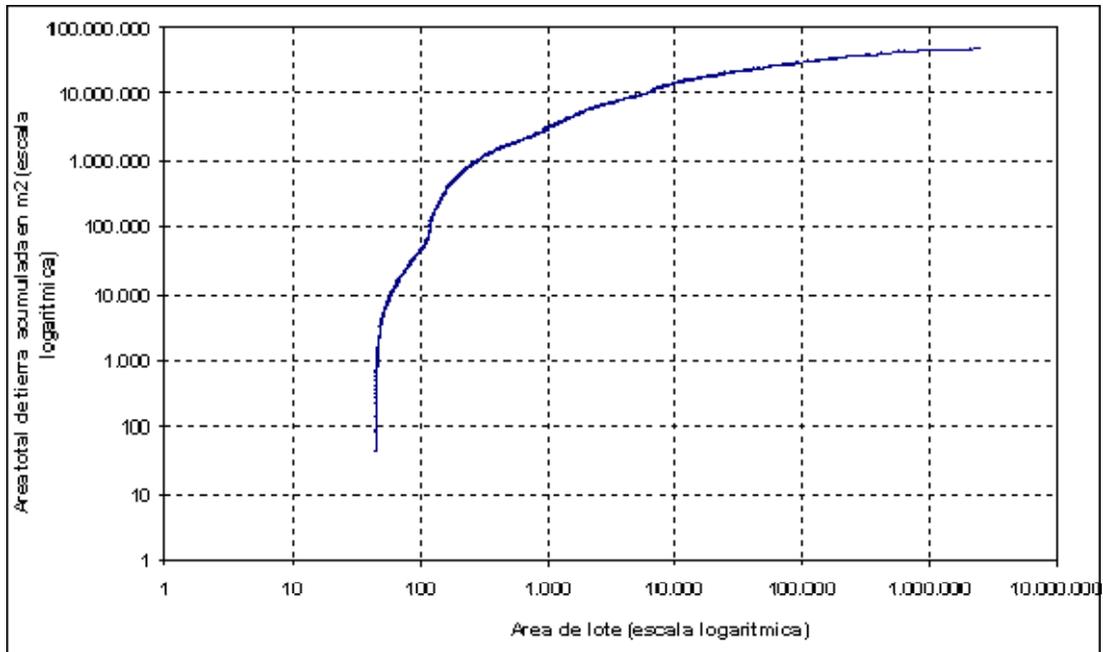
A diferencia de los distritos mencionados anteriormente, los distritos de Concepción y Ángeles muestran tamaños de lotes mucho mayores, asociado a características más rurales de ambos distritos. Por ejemplo, el percentil 50 en Concepción muestra un tamaño de lote de $858 m^2$, mientras que el percentil 90 es de $8.768 m^2$ y el percentil 99 alcanza un valor de $86.880 m^2$, más de dieciocho veces el valor de San Rafael.

Figura 12. Distritos del cantón de San Rafael: Área de lote en m²



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 13. San Rafael: Área de lote acumulada en m² (versus tamaño de lote)



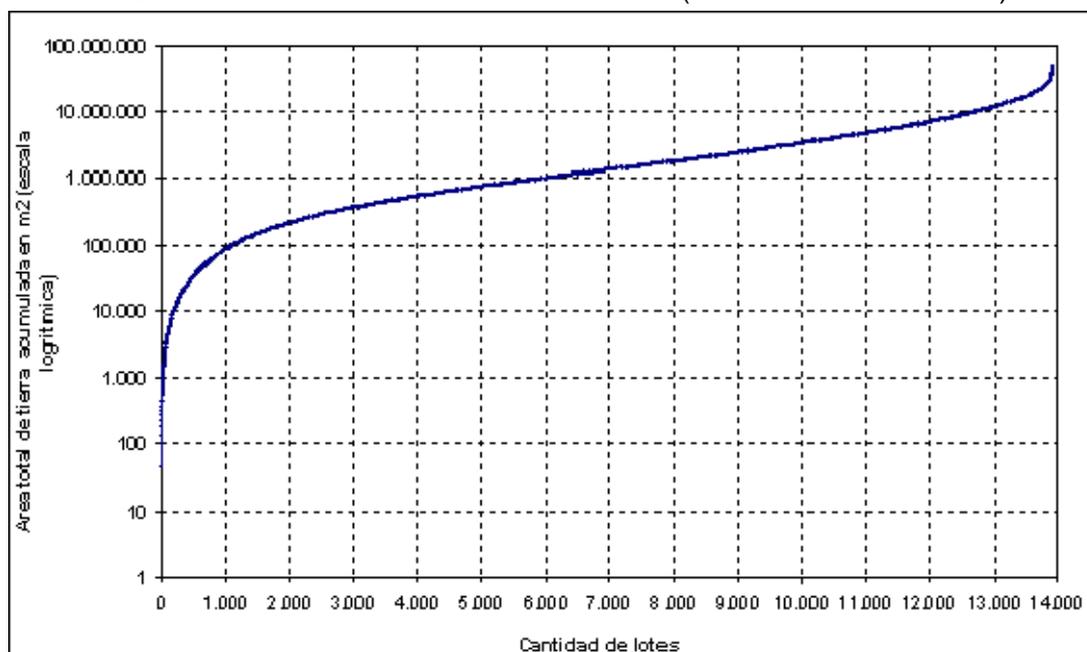
Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Cuadro 4. Distritos del cantón de San Rafael: Área de lote en m²

Percentil	San Rafael (Cantón)	San Rafael	San Josecito	Santiago	Ángeles	Concepción
percentil 1	54	76	59	74	50	55
percentil 5	106	114	103	130	91	119
percentil 10	121	121	119	141	127	165
percentil 15	139	131	120	148	170	210
percentil 25	170	160	133	156	286	317
percentil 50	358	240	174	205	1.037	869
percentil 75	1.335	393	284	331	2.255	3.500
percentil 85	2.602	611	433	466	4.209	7.001
percentil 90	4.921	857	642	584	7.074	8.869
percentil 95	8.986	1.352	1.313	953	12.135	19.722
percentil 99	43.246	4.665	5.747	7.153	54.209	87.941

Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

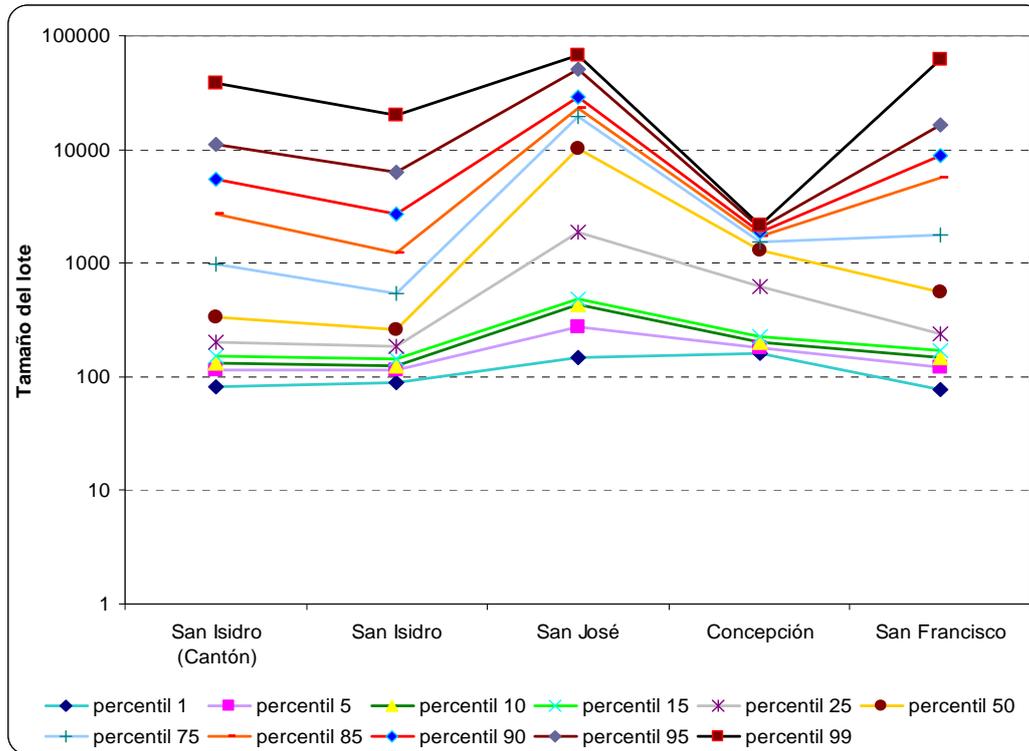
Figura 14. San Rafael: Área de lote acumulada en m² (versus cantidad de lotes)



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Al interior del cantón de San Isidro, el distrito central muestra la mayor segregación de lotes, con una mediana 260 m² de área. En este distrito, el 10% de los lotes se localiza por debajo de los 125 m², mientras que el 90% de los lotes es menor a los 2.670 m² y el percentil 99 es cercano a los 26 mil m². Por el contrario, el distrito de Concepción como es de esperar, muestra mayor tamaño de lotes. El 50% de los lotes del distrito se encuentra por debajo 1.408 m², mientras que el percentil 90 muestra un valor de 5.319 m² y el percentil 99 de 63 hectáreas (el valor más alto de la zona de estudio) (véanse figuras 15 a 17 y mapa 7).

Figura 15. Distritos del cantón de San Isidro: Área de lote en m²



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Cuadro 5. Distritos del cantón de San Isidro: Área de lote en m²

Percentil	San Isidro (Cantón)	San Isidro	San José	Concepción	San Francisco
percentil 1	81	88	148	159	76
percentil 5	116	116	274	177	121
percentil 10	134	124	432	201	147
percentil 15	151	142	477	224	171
percentil 25	199	184	1.882	621	239
percentil 50	335	260	10.154	1.297	564
percentil 75	979	545	19.446	1.535	1.793
percentil 85	2.674	1.242	22.966	1.720	5.630
percentil 90	5.524	2.690	28.788	1.886	8.710
percentil 95	11.062	6.325	50.629	2.051	16.550
percentil 99	38.278	20.283	68.103	2.183	61.202

Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 16. San Isidro: Área de lote acumulada en m² (versus tamaño de lote)

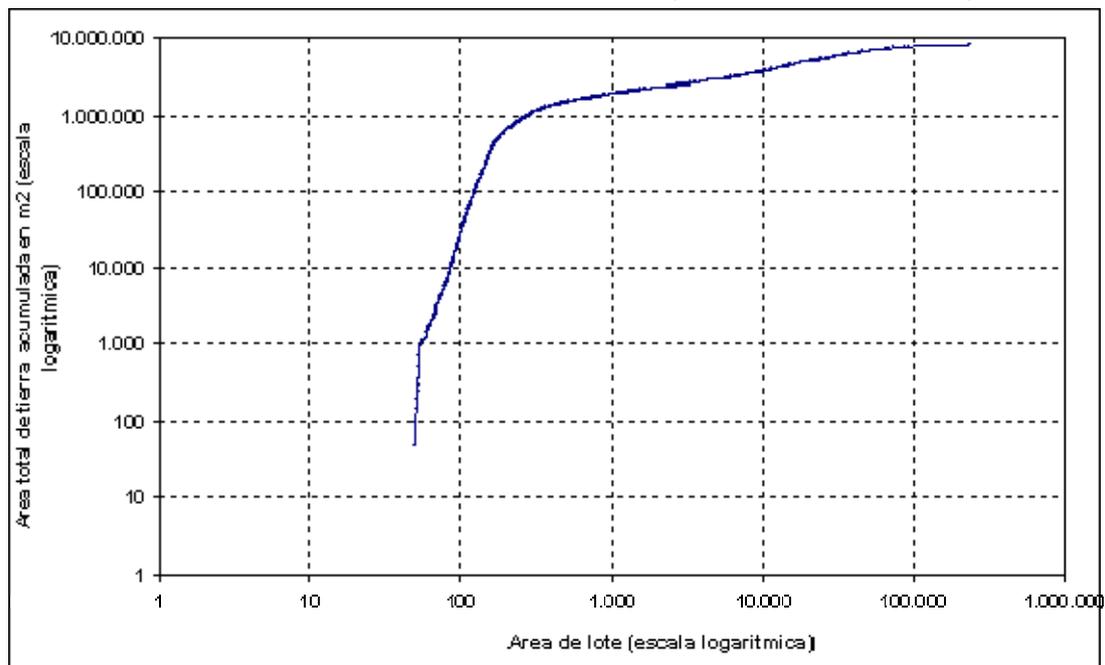
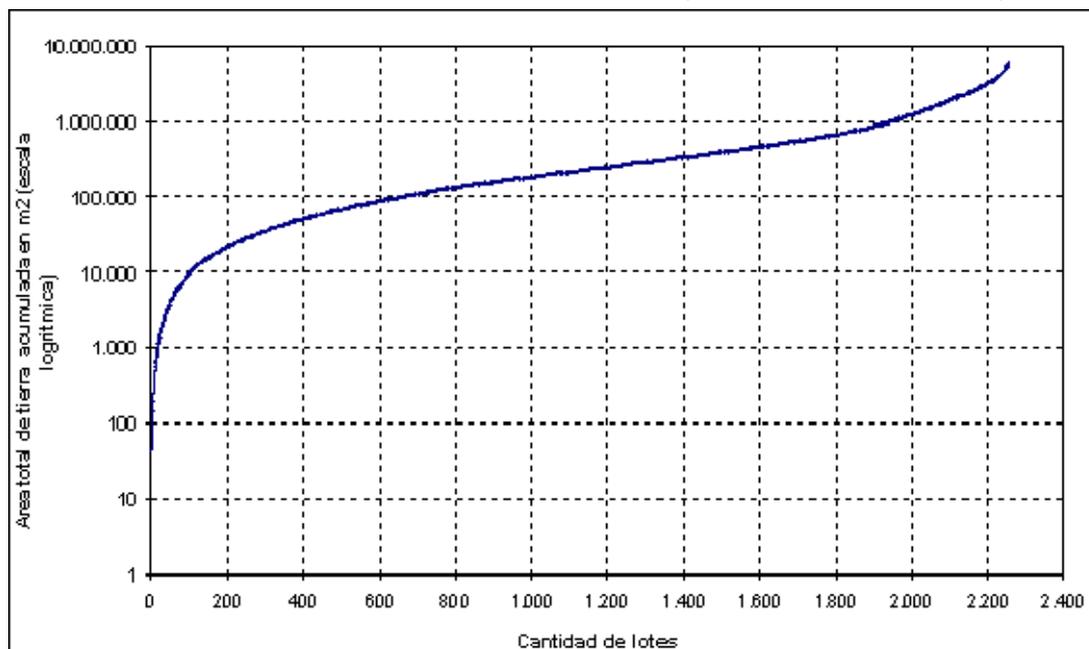


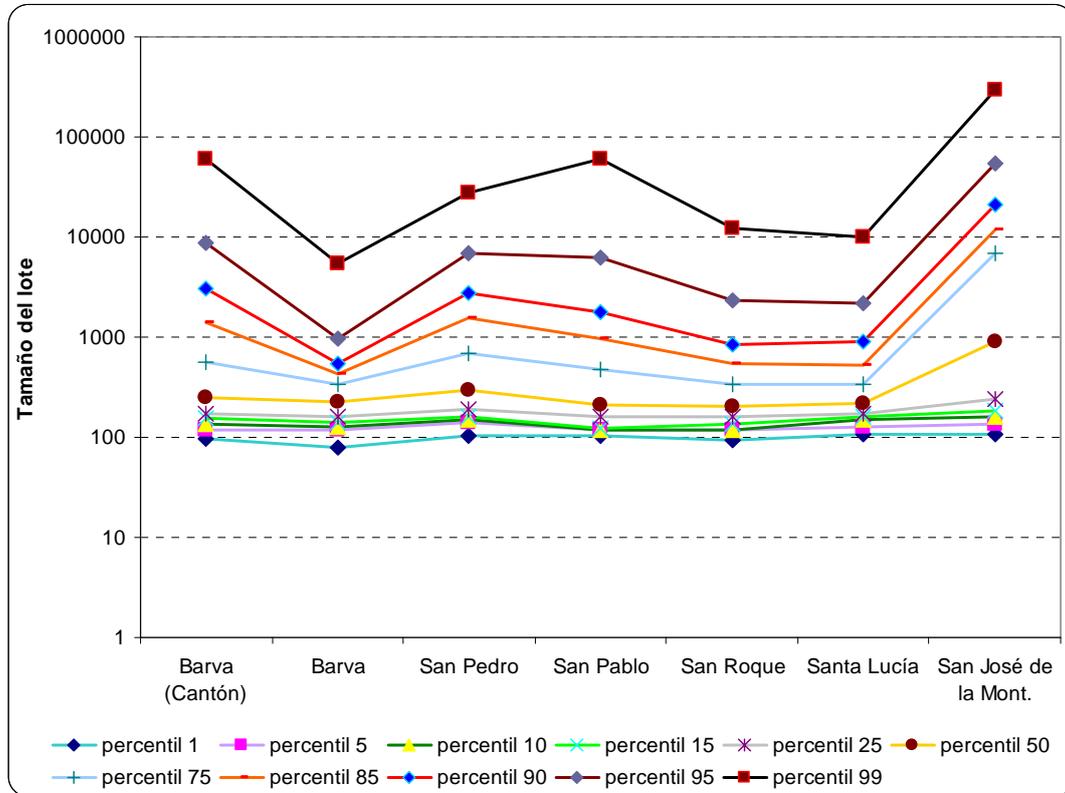
Figura 17. San Rafael: Área de lote acumulada en m² (versus cantidad de lotes)



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Por su parte el cantón de Barva, concentra los menores tamaños de lote, en el distrito central y en la zona sur de San Pablo y Santa Lucía que colinda con la parte central de Barva, así como la parte noreste de San Roque. En el caso del distrito de Barva, el 50% de los tamaños de lotes se ubican por debajo de los 298 m², mientras que el 15% de los lotes es menor a los 161 m² y el percentil 99 muestra un valor de 29.298 m².

Figura 18. Distritos Barva: Área de lote en m²



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

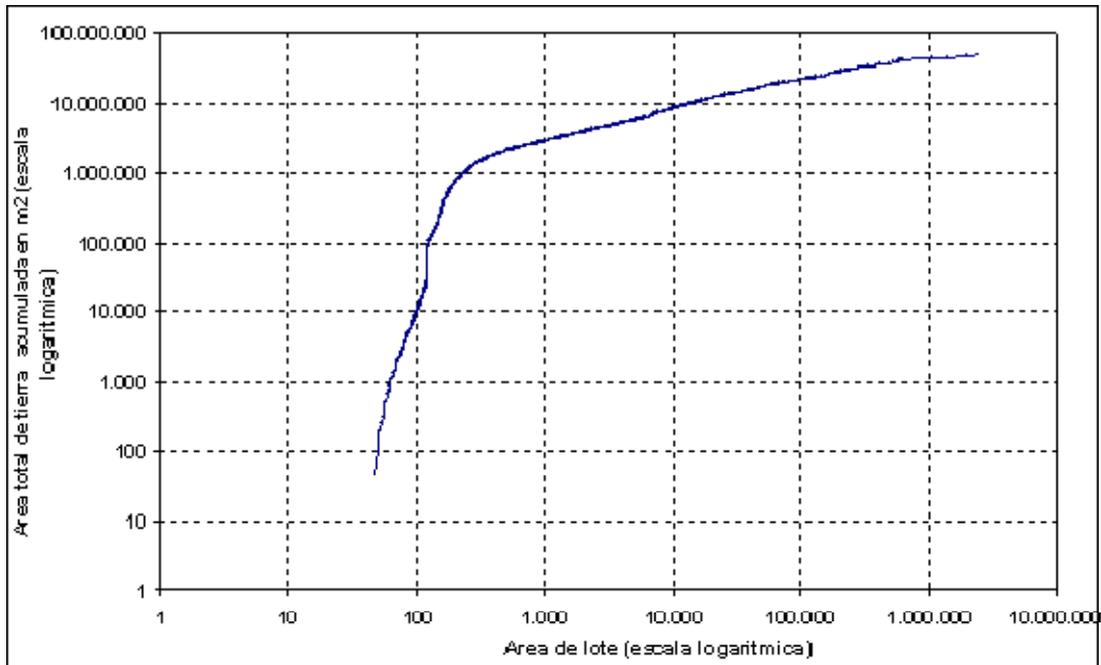
Cuadro 6. Distritos Barva: Área de lote en m²

Percentil	Barva (Cantón)	Barva	San Pedro	San Pablo	San Roque	Santa Lucía	San José de la Mont.
percentil 1	98	80	105	104	95	105	107
percentil 5	120	118	142	120	120	126	135
percentil 10	136	127	150	120	120	149	160
percentil 15	153	139	162	123	133	160	186
percentil 25	170	161	190	159	160	171	243
percentil 50	251	222	298	212	200	220	905
percentil 75	569	337	684	468	338	342	6.804
percentil 85	1.381	433	1.535	967	542	532	11.821
percentil 90	3.015	541	2.722	1.789	855	889	21.075
percentil 95	8.750	969	6.999	6.326	2.311	2.207	54.255
percentil 99	61.192	5.380	27.626	61.059	12.437	9.959	298.519

Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

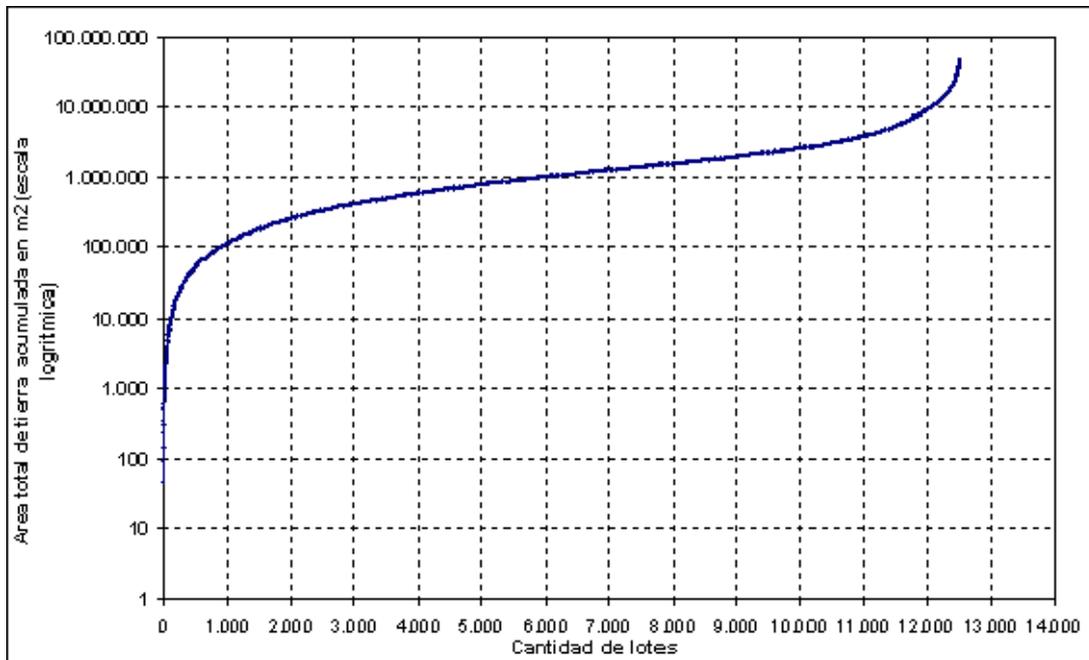
San José de la Montaña es el distrito de mayor tamaño de lotes dentro de Barva, el valor de la mediana es de 905 m², mientras que el percentil 90 es superior a dos hectáreas (21.074 m²) y el del percentil 99 es cercano a las 3 hectáreas. En el resto de distritos el 50% de los lotes presenta un tamaño menor a los 300 m², por ejemplo en San Pedro la mediana es de 298 m², en San Pablo es de 212 m², en San Roque de 200 m² y en Santa Lucía de 219 m² (véanse figuras 18 a 20 y mapa 8).

Figura 19. Barva: Área de lote acumulada en m² (versus tamaño de lote)



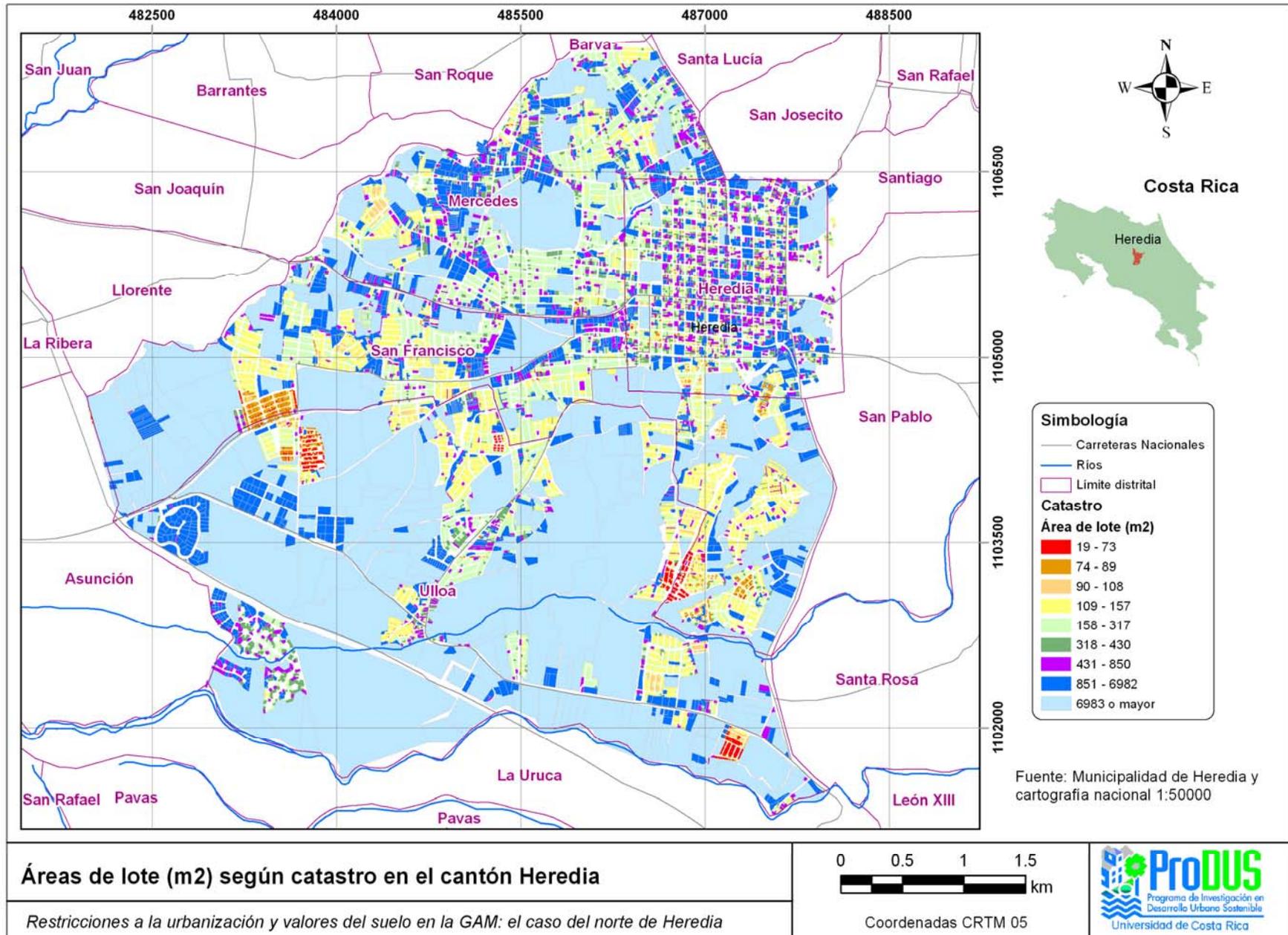
Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

Figura 20. Barva: Área de lote acumulada en m² (versus cantidad de lotes)



Fuente: municipalidades de Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael y San Isidro

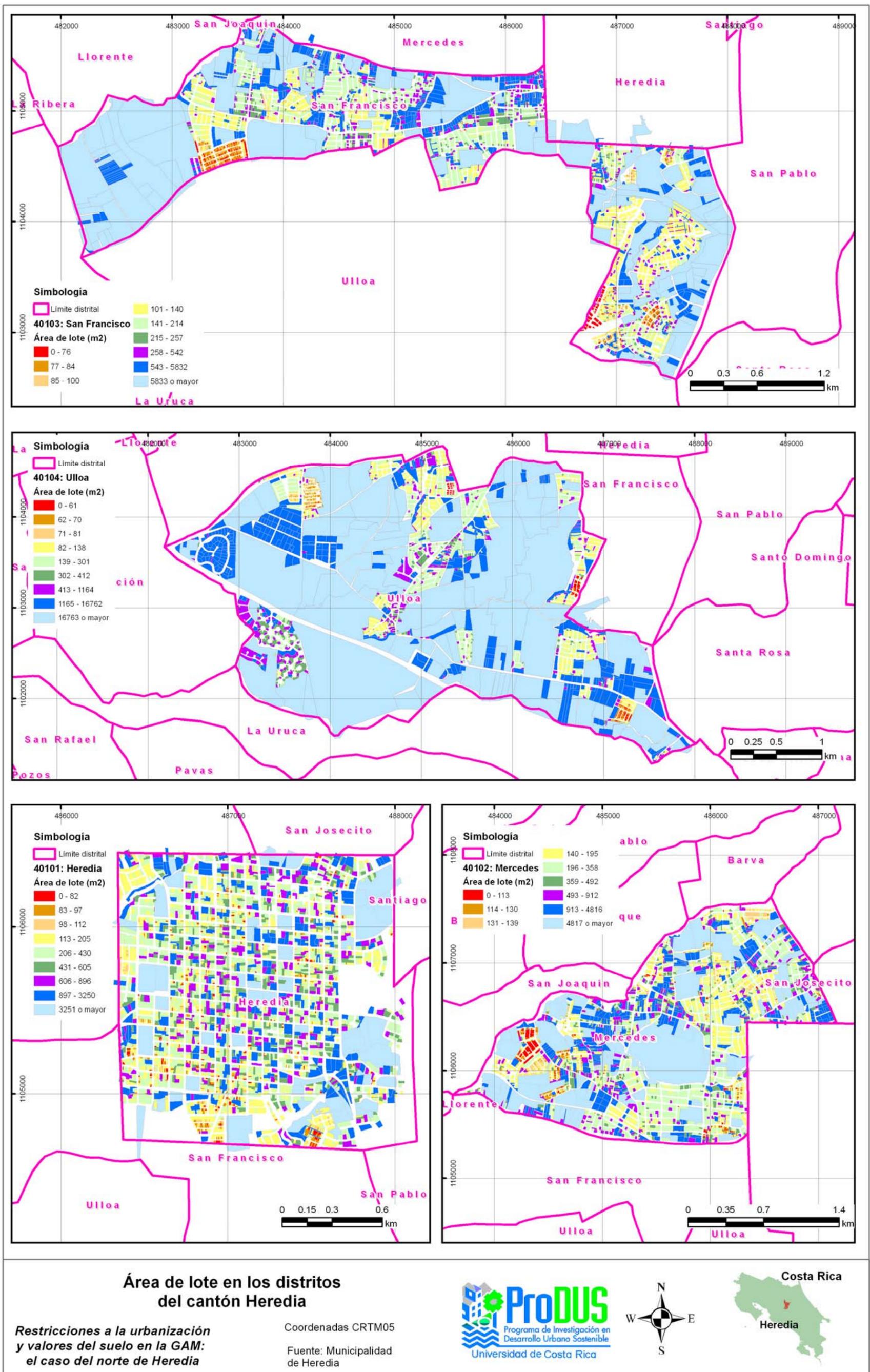
Mapa 1. Áreas de lote según catastro en el cantón de Heredia



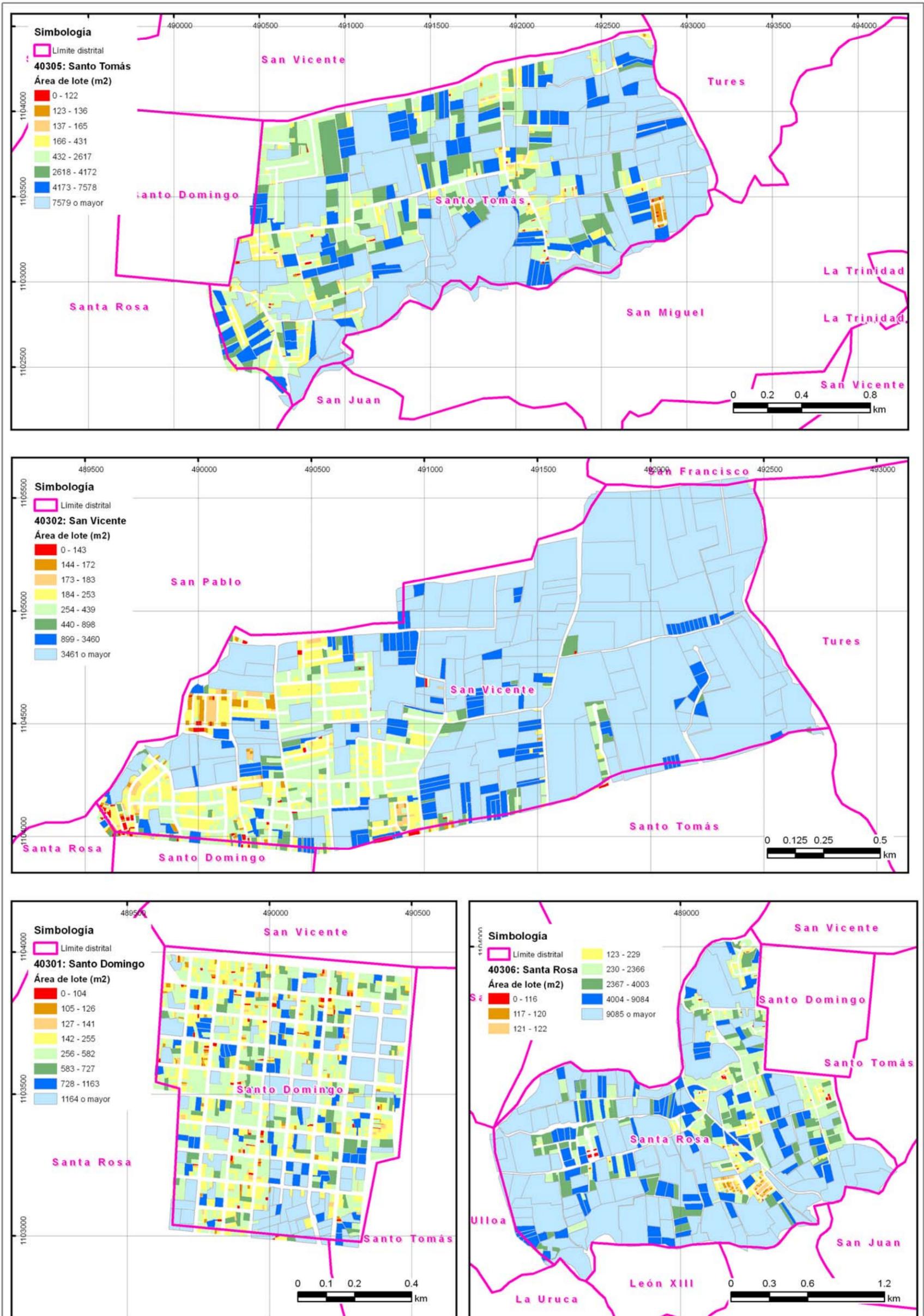


Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 2. Área de lote en los distritos del cantón de Heredia



Mapa 3. Área de lote en los distritos del cantón Santo Domingo de Heredia



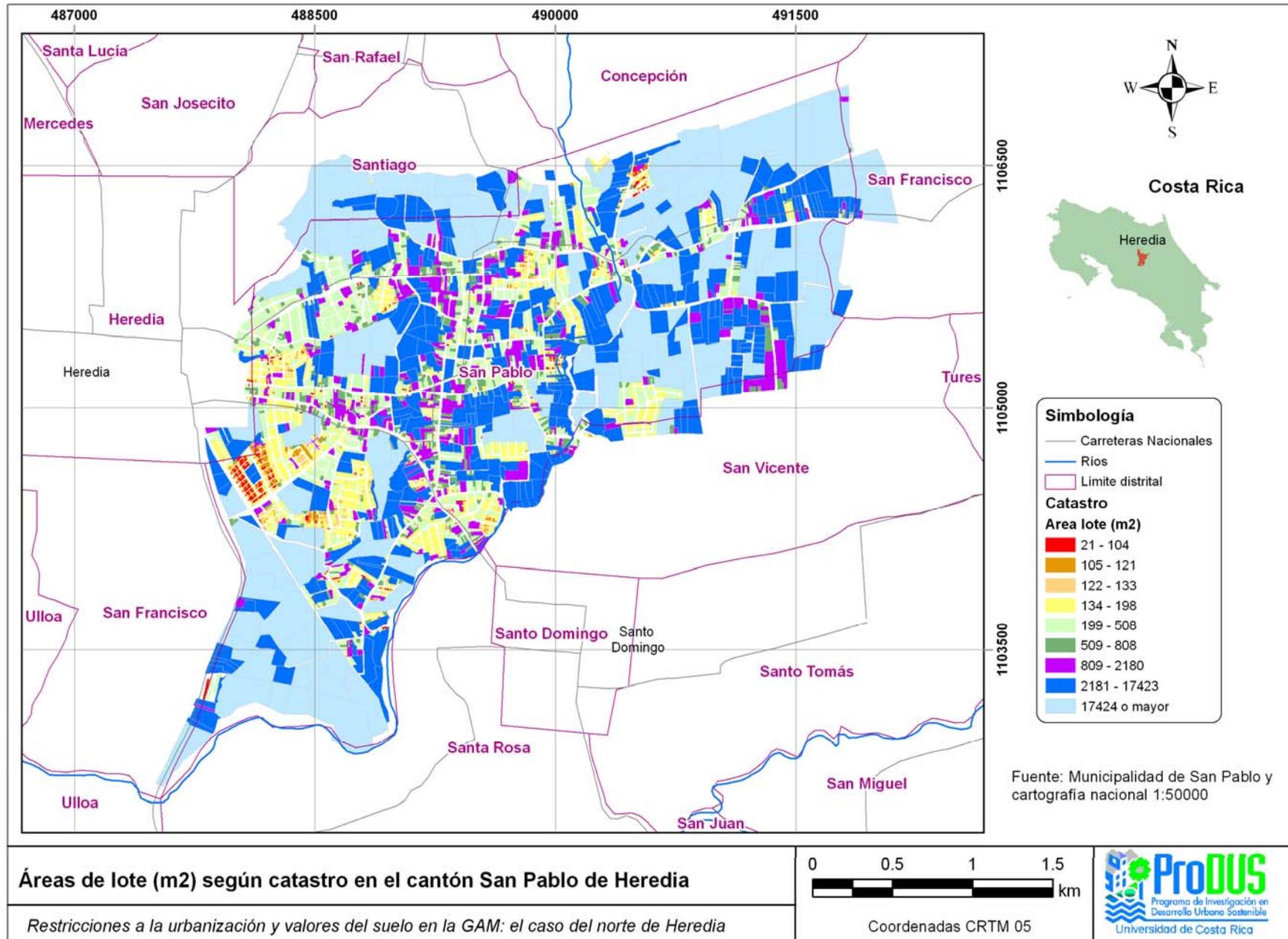
Área de lote en los distritos del cantón Santo Domingo de Heredia

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia

Coordenadas CRTM05
Fuente: Municipalidad de Santo Domingo de Heredia



Mapa 4. Áreas de lote según catastro en el cantón San Pablo de Heredia



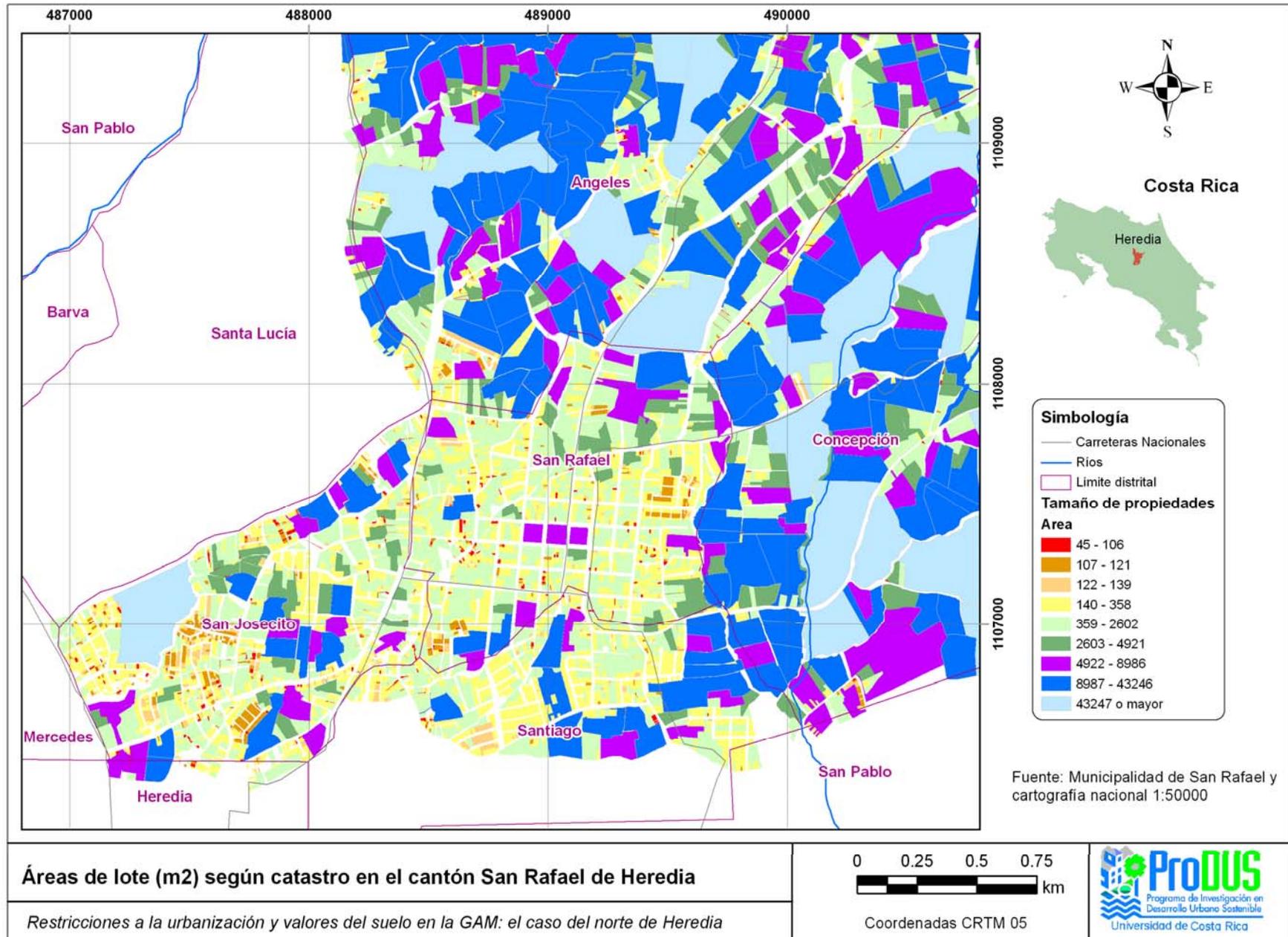
Áreas de lote (m2) según catastro en el cantón San Pablo de Heredia

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

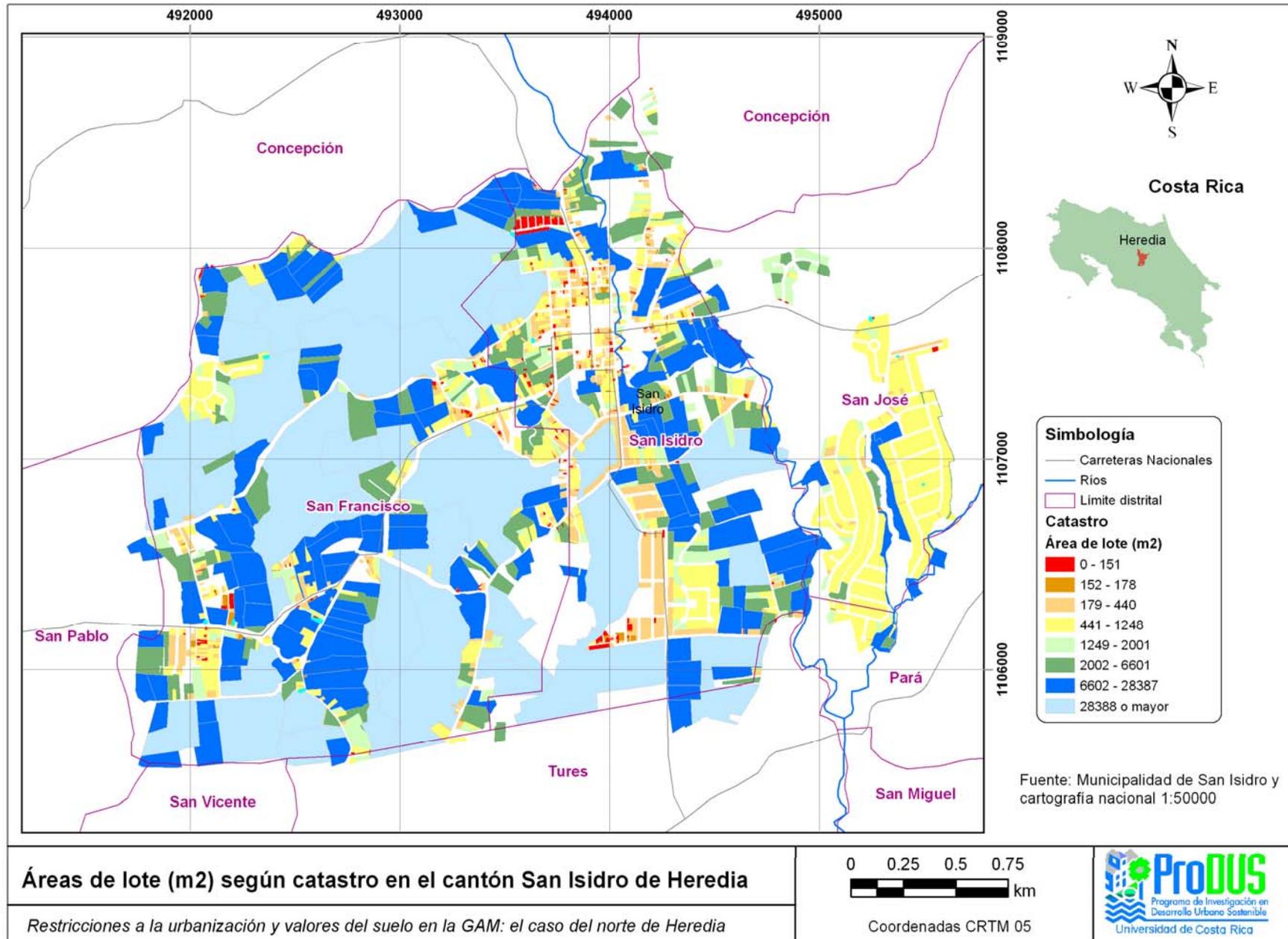
Mapa 5. Áreas de lote según catastro en el cantón San Rafael de Heredia





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 6. Áreas de lote según catastro en el cantón San Isidro de Heredia



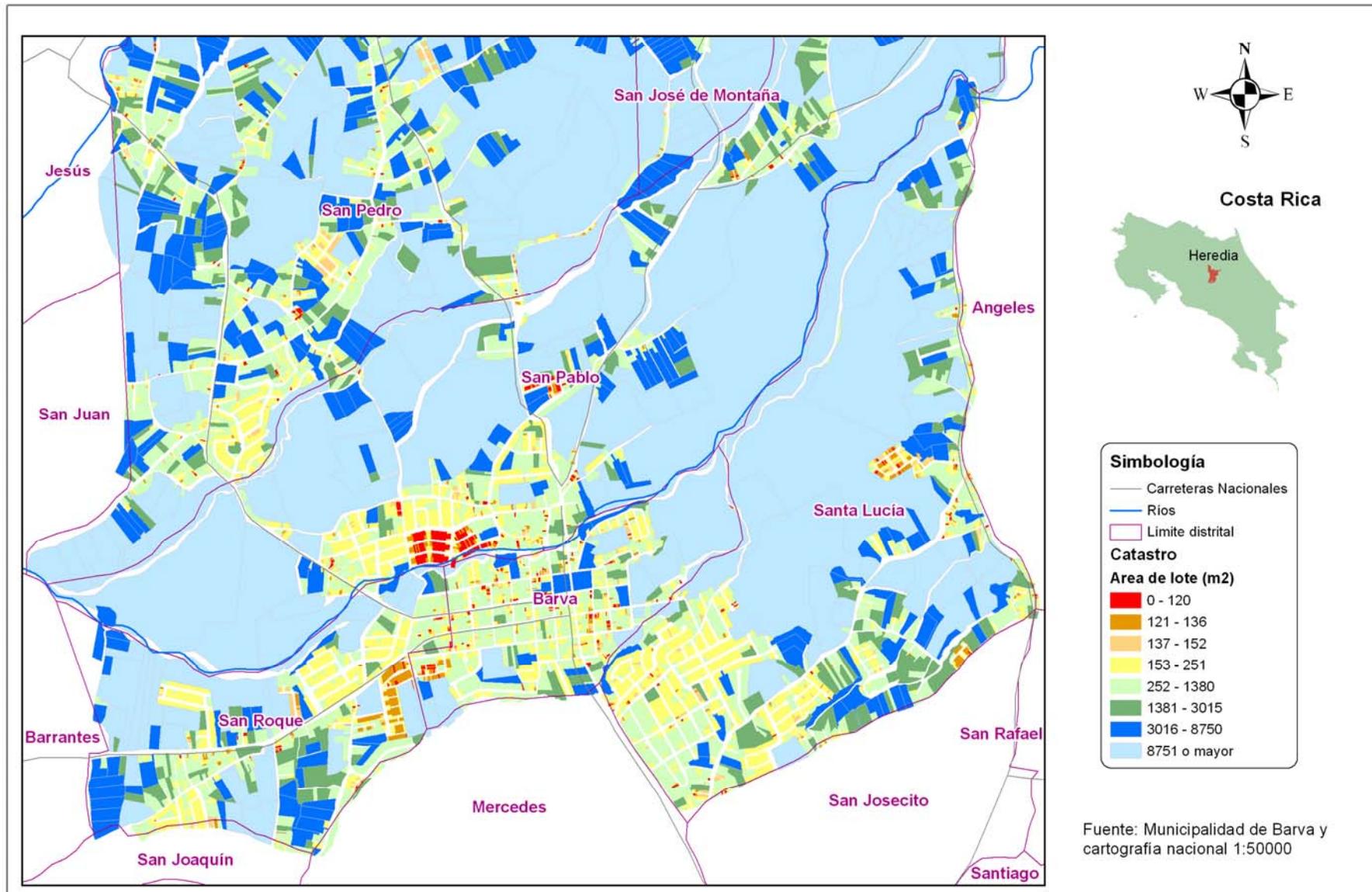
Áreas de lote (m²) según catastro en el cantón San Isidro de Heredia

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia



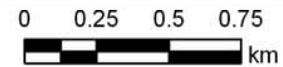
Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 7. Áreas de lote según catastro en el cantón Barva de Heredia



Áreas de lote (m2) según catastro en el sur del cantón Barva de Heredia

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia



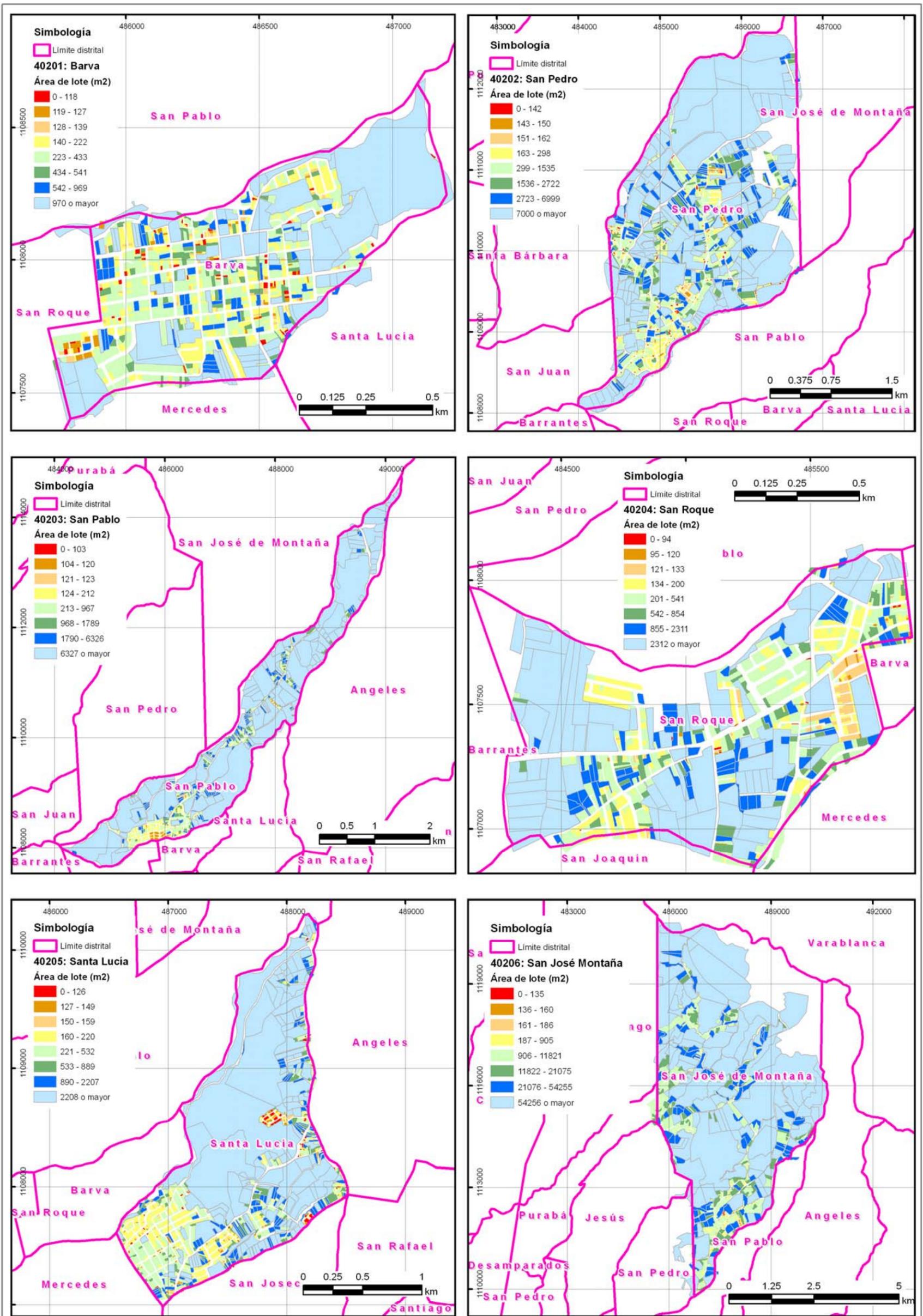
Coordenadas CRTM 05





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 8. Área de lote en los distritos del cantón Barva de Heredia



Área de lote en los distritos del cantón Barva de Heredia

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia

Coordenadas CRTM05
Fuente: Municipalidad de Barva de Heredia





Sección 6. Regulaciones territoriales en el norte de Heredia

Esta sección describe las regulaciones municipales y regionales que afectan el norte de Heredia. Una primera parte se refiere a los impactos de la regulación territorial sobre el desarrollo urbano y los mercados inmobiliarios, con particular énfasis en fronteras de crecimiento. La segunda parte describe las regulaciones regionales – en particular, el límite de crecimiento urbano de la GAM – y las leyes nacionales de las cuales derivan las regulaciones municipales. Estas se resumen en la tercera parte; específicamente, se muestran patrones de coeficientes de edificabilidad.

6.1. La regulación y el desarrollo urbano

La evidencia sobre el impacto de la regulación sobre el desarrollo urbano no es concluyente, en parte por la enorme complejidad del fenómeno. Dependiendo de la forma en que se miden las dinámicas urbanas y las formalizaciones de los modelos que evalúan el impacto, incluida su propia escala (por ejemplo, si una zona urbana se compara con otras o si se evalúa una tendencia), se obtienen resultados diferentes.

En general, existe un argumento desarrollado desde la economía que las regulaciones urbanas introducen distorsiones en los mercados inmobiliarios. Estas distorsiones, a su vez, serían hipotéticamente responsables por aumentos en los valores del suelo y otras distorsiones. Este argumento ha sido desarrollado desde dos cuerpos metodológicos: utilizando modelos teóricos y evaluando empíricamente series de datos.

Un ejemplo típico del primer grupo (modelación teórica) es el trabajo Brueckner (2009). A partir de la relación fundamental entre rentas del suelo y costos de transporte, Brueckner predice que diversas intervenciones sobre el mercado del suelo – fronteras de crecimiento urbano, restricciones al coeficiente de edificabilidad¹⁹, requerimientos de infraestructura y desarrollo directo de la tierra por parte del estado – aumentan los valores del suelo. En general, estos falsos lugares comunes fueron elegantemente derivados de gráficos estilizados pero no toman en cuenta las particularidades funcionales de los mercados inmobiliarios. En particular, en una ciudad, cada localización tiene la máxima renta del suelo que sus usuarios están dispuestos a pagar independientemente de las regulaciones a que se vea sometido el suelo. En palabras de Smolka (1981: 73): "el precio de un terreno es, en gran medida, fijado externamente a él, o sea: por las actividades que compiten por su uso; [...] el propietario del terreno recibe una renta derivada del derecho contractual que le confiere la relación institucional de propiedad sobre dicho terreno. Sin embargo, él es, por así decirlo, pasivo en lo que se refiere al control sobre la base material necesaria para la formación de esta renta."²⁰

Otras reflexiones teóricas incluyen el trabajo de Arnott et al. (1977), que utiliza simulaciones matemáticas, datos de costos constructivos y un modelo de equilibrio general computable; concluyen que los costos de las restricciones de altura son relativamente bajos y que existe, aparentemente, una demanda sustancial por espacios recreacionales en las ciudades. Aura y Davidoff (2008) concluyen, a partir de una parametrización de un modelo muy simplificado, que el aumento en la cantidad de tierra disponible en jurisdicciones (ciudades) individuales tienen

¹⁹ El coeficiente de edificabilidad es la razón entre el área máxima que se permite construir y el tamaño del lote en que se construye.

²⁰ Cf. también Mills (1983), quien con un propósito muy diferente parte de supuestos iguales a Smolka (1981).

poco potencial para impactar el valor del suelo; un efecto mayor podría hipotéticamente lograrse coordinando cambios en varias ciudades. En cambio, Bertaud y Brueckner (2005), construyendo sobre una versión simplificada del modelo de Arnott et al. (1977), estimaron costos sociales de entre el 1,5 y 4,5% del ingreso familiar producto de las restricciones de altura en Bangalore, India.

Entre los resultados empíricos del impacto de la regulación, caben destacar los trabajos de Glaeser y Gyourko (2003) y Glaeser y Ward (2009). En una evaluación del precio de la vivienda en Estados Unidos, Glaeser y Gyourko (2003) encontraron que, en la mayoría de ciudades estadounidenses, los precios de las viviendas generalmente estaban cerca de los costos de construcción; estas ciudades tenían crecimientos importantes y una expansión horizontal en las periferias. Un segundo grupo incluso presentaba precios de las viviendas por debajo de su costo de construcción, en sitios donde no hay crecimiento poblacional y las áreas urbanas (particularmente el centro de las ciudades) estaban muy deterioradas, por ejemplo Detroit, Michigan. Solo ciertas áreas urbanas muy específicas – en particular Nueva York y California – tenían precios de vivienda mucho más altos. Más aún, estos sobrepuestos (con respecto al costo de construir) estaban muy fuertemente correlacionados con mayores regulaciones de zonificación y de uso del suelo. En este tercer grupo, tanto hogares de altos ingresos como hogares de bajos ingresos enfrentaron altos precios en las viviendas.

Profundizando para la ciudad de Boston, que tiene una multitud de regulaciones municipales más estrictas que los estándares estatales y donde se combina una tendencia de aumento en el precio de la vivienda con una reducción en la cantidad de viviendas construidas, Glaeser y Ward (2009) encontraron relaciones negativas y significativas entre la cantidad de permisos de construcción (de viviendas individuales y totales) con el tamaño mínimo de lote: cuánto más exigente esta regulación – i.e. más grande el lote – menos actividad constructiva. Al evaluar el impacto sobre el precio de los inmuebles, Glaeser y Ward (2009) señalaron que el efecto puede o no ser estadísticamente significativo, dependiendo de las variables de control, y en general es positivo: a mayor regulación, mayor valor de los inmuebles transados. Evidencia de este impacto sobre los costos de la vivienda también ha sido sintetizada para Nueva York (Glaeser et al., 2005a), y ha sido atribuida en parte a una tendencia, en Estados Unidos, hacia una redefinición de los derechos de propiedad que favorecen las restricciones y los grupos comunales que argumentan a favor de ellas por razones ambientales (Glaeser et al., 2005a, 2005b): los propietarios de viviendas existentes, especialmente en la periferia, han ido adquiriendo el derecho de bloquear desarrollos que modifiquen el carácter de su vecindario periférico (especialmente grandes proyectos que aumenten la densidad) argumentando impactos ambientales sobre el paisaje y sistemas naturales – derecho que se ha desarrollado a través de la jurisprudencia (sentencias judiciales) y no de leyes explícitamente aprobadas para tal efecto. Esta situación es doblemente conveniente para los propietarios: no solo preserva los valores de su entorno, también crea una situación en que el precio de sus viviendas aumenta. Por contrapartida, el efecto de estas restricciones sobre el conjunto de una ciudad parece ser de mayores precios de la vivienda para todos (véase Glaeser et al., 2005b).

Kahn et al. (2010) utilizaron el límite de la zona costera californiana, que busca preservar valores ambientales, encontraron una creciente densificación y gentrificación dentro de la zona costera entre 1970 y 2000. Más aún, los inmuebles justo dentro de la zona costera tienen un sobrepuesto del 20% con respecto a los que están fuera. Sin embargo, dada la naturaleza exclusiva de la zona costera y sus ventajas en términos de externalidades positivas, resulta difícil distinguir entre los costos regulatorios y una mayor atractividad en general de la zona costera.

Una interesante dimensión de los impactos de la regulación ha sido desarrollada específicamente en el contexto de países en desarrollo. Se refiere a la relación entre informalidad y exclusión, y es una manifestación específica de lo que Henderson (2009) llama zonificación excluyente: la restricción, mediante requerimientos, a la llegada de nuevos residentes en una zona – en particular, si estos son socialmente diferentes a los residentes originales. En el caso brasileño, que ha sido más ampliamente estudiado, existe evidencia de que la regulación urbana promueve la informalidad. Biderman (2008) encontró que las municipalidades brasileñas que implementaron regulaciones entre 1986 y 1995 redujeron sus niveles de informalidad menos que las ciudades no reguladas. La zonificación, en particular, tuvo impactos relativamente grandes. Souza (2009) estudió el caso de Curitiba y encontró que las regulaciones que restringen la densidad de ocupación (áreas mínimas, retiros y frentes de lote mínimo) tienen un impacto positivo sobre el valor de las viviendas; las regulaciones que afectan la altura (coeficiente de edificabilidad, altura máxima), en cambio, se relacionan negativamente con el precio – lo cual adscribe a que se analizan conjuntamente viviendas individuales y multifamiliares. El efecto de estos aumentos del precio en Curitiba es desplazar al desarrollo de viviendas informales a la periferia. Feler y Henderson (2011) encontraron que el no proveer servicios públicos a zonas informales es una estrategia exclusionaria de los municipios brasileños. Encontraron que la restricción de las conexiones de agua potable es una estrategia particularmente eficiente para evitar la inmigración de grupos de bajos ingresos. También sintetizaron evidencia de interacciones estratégicas entre municipios de una misma área metropolitana: cuando una municipalidad provee servicios básicos a las viviendas de inmigrantes pobres, otras responden restringiendo dichos servicios (Feler y Henderson, 2011).

Específicamente sobre límites al crecimiento urbano, existen numerosas evaluaciones. Entre ellas, cabe destacar:

- El caso de la frontera de crecimiento de la ciudad de Portland en Oregon, Estados Unidos, que ha sido ampliamente estudiado por su larga trayectoria. En particular, es interesante resaltar el reciente trabajo de Grout et al. (2011), que identificó una discontinuidad en el gradiente de precios de los inmuebles de entre 30 y 140 mil dólares por acre y la ausencia de este gradiente en los sectores este de la frontera de crecimiento. Esto indica una característica importante de los límites de crecimiento: pueden ser localmente restrictivos – es decir, se pueden implementar eficientemente en algunos segmentos y no en otros.
- Una evaluación anterior de Knaap (1985) sobre la frontera de crecimiento urbano de Portland emplea el método clásico de emplear un modelo de precios hedónico con la regulación como variables categóricas independientes. Sus resultados proveen un elemento adicional: si bien es cierto los valores del suelo son mayores en las zonas urbanas (interior del límite de crecimiento), los efectos teóricos esperados sobre la renta del suelo son más fuertes y claros en las jurisdicciones que han decidido aplicar más estrictamente la regulación.
- El análisis sobre la radical liberalización del mercado inmobiliario en Chile, que eliminó entre otros los límites de crecimiento, resultó en un aumento sostenido de los precios de la tierra en Santiago (que había sido erróneamente considerada como artificialmente escasa por causa de la regulación eliminada) y en un aumento de la segregación social (Sabatini, 2000), aunque parte de la segregación fue consecuencia de políticas públicas deliberadas que la fomentaron.

En síntesis, la regulación urbana en general y un límite de crecimiento urbano en particular deberían reducir el valor del suelo (comparado con el caso hipotético en que no existe el límite o regulación). Esta reducción en el valor del suelo es adicional a la reducción producto de la menor accesibilidad de las zonas ubicadas más allá de este límite de crecimiento. Pero el límite

de crecimiento no necesariamente genera escasez de suelo para urbanizar ni impactos generales sobre el gradiente de precios de la ciudad en su conjunto. Y aún en el caso de el límite de crecimiento introduzca escasez de suelo, el sistema es capaz de adaptarse a través de densificación u otros grados de libertad.

6.2. Regulaciones urbanas en la zona de estudio

La región metropolitana de San José está regulada por dos grandes grupos de instrumentos: el plan regional (cuya definición e implementación general es responsabilidad del INVU) y los planes reguladores municipales – que es el instrumento más efectivo para la implementación de regulaciones urbanas. Ambos se derivan de la Ley de Planificación Urbana de 1968.

El plan regional de la GAM

El plan regional fue concebido como un conjunto de reglamentos y un mapa de zonificación preliminar, que busca ser un lineamiento general para guiar la elaboración de planes reguladores municipales. Dos medidas regulatorias fueron definidas como vinculantes a partir de la planificación regional: el límite de crecimiento urbano, originalmente decretado en , y la delimitación de zonas industriales para la región (existía un reglamento de zonas industriales previo al plan regional, de 1980, que fue sustituido en 1985 por el actualmente vigente *Reglamento de zonificación parcial de áreas industriales en la Gran Área Metropolitana*).

La regulación más influyente sobre los patrones de crecimiento en la zona de estudio es el límite de crecimiento²¹. El decreto que establece el plan regional como oficial (Reglamento 3332 - A del 26 de abril 1982, emitido por el INVU al amparo de la Ley de Planificación Urbana y publicado en La Gaceta No 119 del 22 de junio de 1982), define una zona de protección de "uso predominantemente agrícola", sujeta a las siguientes restricciones:

- Solo pueden crearse urbanizaciones y servidumbres urbanas en "las áreas de expansión de los cuadrantes de las cabeceras de los distritos": es decir, los núcleos de población rural ya existentes y delimitados por el INVU mediante cartografía oficial publicada el diario oficial en diciembre de 2000.
- La segregación de lotes se limita a áreas frente a caminos existentes antes de la promulgación del plan regional (1982) o a parcelas agrícolas con áreas mínimas de 7000 m² "para fines estrictamente agrícolas".
- El INVU y las Municipalidades *pueden* denegar permisos de urbanización cuando están fuera de las áreas de expansión de los cuadrantes – nótese que el proceso de urbanización en Costa Rica exige solicitar permisos tanto en la Municipalidad como en la Dirección de Urbanismo del INVU; según la norma, deben obtenerse aprobaciones en *ambas* instancias.
- El INVU es responsable de determinar si el camino frente a una segregación propuesta existía antes de la promulgación del plan regional o no; es decir, al INVU le corresponde decidir dónde es legal segregarse para usos no agrícolas en la zona de protección – esta función originalmente fue asignada a las Municipalidades. Las Municipalidades *deben* denegar permisos de construcción a segregaciones ilegalmente realizadas.

El poder del reglamento radica en que especifica restricciones a la urbanización, que la Dirección de Urbanismo del INVU puede hacer efectivas porque los permisos de urbanización

²¹ La zona industrial de Belén-Heredia existe en gran medida por la presión que el *Reglamento de zonificación parcial de áreas industriales en la GAM* ejerce sobre los patrones de localización de actividades industriales en la GAM.

deben ser aprobados por ella. Sin embargo, las segregaciones (teóricamente agrícolas) permiten un tipo de urbanización de baja intensidad que no puede ser controlado por el INVU.

Este reglamento ha sido el resultado de una sucesión de cambios a lo largo de los años, que se detallan a continuación. En su versión original, esencialmente prohibía la construcción y urbanización fuera del límite de crecimiento urbano, excepto para una lista de 22 núcleos ubicados en la zona de protección. Para ellos, se permitía urbanizar a 200 m. de su cuadrante en forma integrada con este. Adicionalmente, era permitido segregar en zonas que contaban con servicios y calle pública antes de la entrada en vigencia del reglamento (en junio de 1982), preservando los derechos adquiridos de estos propietarios. Los usos permitidos, asimismo, se limitaban a: residenciales y agrícolas para los propietarios, servicios privados locales y servicios públicos, y una serie de usos que pueden acomodarse con grandes áreas y bajas coberturas (colegios privados, organismos internacionales y clubes campestres). El plan regional se ha modificado, desde su promulgación en 1982, en las siguientes ocasiones:

- **1983.** Acuerdo de la Junta Directiva del INVU publicado en La Gaceta No. 74 del 20 de abril de 1983. Esta primera serie de cambios es un ajuste a la normativa regional. En general, le permite al INVU aprobar cambios en espacialmente circunstancias específicas: la posición del límite de crecimiento (y los criterios que se pueden utilizar para modificarlo), la urbanización en poblaciones rurales fuera del anillo (solamente posible si la población crece y se agota el espacio disponible). También realiza ajustes menores a la normativa de áreas especiales de no construcción. Entre las disposiciones, establece que las propiedades en el límite mismo del límite de crecimiento "podrán extender cualquiera de los usos en un porcentaje a estudiar en cada caso."
- **1984.** Acuerdo de Junta Directiva No 3539, artículo IV, en la sesión celebrada el 15 de junio de 1984; publicado en La Gaceta No 151 del 10 de agosto de ese año. Incorpora las recomendaciones de la Dirección General de Aviación Civil, SENARA y el Distrito de Riego de Itiquís. En particular, permite el fraccionamiento frente a calle pública en el distrito y reduce el tamaño de la parcela de 5 a 2 Ha. Reduce de 5 a 2 Ha. el tamaño mínimo de los campos campestres en la zona de protección (agrícola). La reforma también especifica cuáles de las propiedades ubicadas a lo largo del límite de crecimiento urbano propiamente pueden ser urbanizadas (solo si están a menos de 100 m. del límite) y cuánta de su área puede urbanizarse (el área que sea menor entre el 50% o los primeros 200 m. contados a partir del límite hacia fuera). Se inicia de este modo una serie de intentos recurrentes por introducir indefinición y ambigüedad en la regulación, lo cual resulta en un significativo debilitamiento de esta.
- **1987-mayo.** Acuerdo de la Junta Directiva del INVU, sesión No. 3825 del 18 de mayo de 1987 y vigente desde el 9 de junio del mismo año (publicado en La Gaceta No. 109 de ese año). Amplía el límite de crecimiento en Moravia. El límite en este sector fue justificado por carencia de infraestructura para proveer agua potable. Ante un proyecto del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para expandir el acueducto en esta área, se levantaron las restricciones a la urbanización en la zona cubierta por el proyecto.
- **1987-agosto.** Junta Interventora del INVU, en su artículo III, inciso 2), de la sesión N° 12, celebrada el 27 de agosto de 1987, con base en informe del Departamento de Urbanismo; modificación vigente desde su publicación en La Gaceta No 187 de 28 de septiembre de ese año. Define la zona de expansión de los núcleos urbanos ubicados en la zona de protección (agrícola) como un radio de 200 m. y restringe su urbanización a satisfacer el déficit de vivienda distrital, si fuera necesario a juicio del INVU; permite la urbanización fuera de esa zona de crecimiento para satisfacer el déficit habitacional del distrito si: no hay problemas de escorrentía o impacto sobre mantos acuíferos y el suelo no es apto para agricultura (esta disposición parece buscar legitimidad para

intervenciones de la Comisión Especial de la Vivienda, que más o menos en esta época formalizó numerosas tomas de tierra fuera del límite de crecimiento urbano, sobre todo al sur de San José). Prohíbe la urbanización fuera del límite de crecimiento en caminos que recibieron servicios públicos después de la promulgación del reglamento (1982). Autoriza las segregaciones agrícolas en tamaños menores a 5 Ha. pero con un tamaño mínimo que deberá ser definido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

- **1989.** Acuerdo tomado por la Junta Directiva del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, según consta en el artículo X del acta de la sesión ordinaria número 3912, celebrada el 17 de abril de 1989. Vigente desde su publicación en La Gaceta No 96 del 19 de mayo de ese año. Añade el requerimiento de que los terrenos urbanizables fuera de los cuadrantes "no tengan aptitud forestal o no requieran de arborización para contrarrestar problemas de estabilización de suelos, de acuerdo con la Dirección Forestal."
- **1993.** El Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo por acuerdo tomado por la Junta Directiva de este Instituto, según consta en el artículo IX del acta de la sesión ordinaria No 4295 del 25 de marzo de 1993, publicado en La Gaceta No 125 del 2 de julio de ese año. Añade restricciones a la ubicación de clubes campestres y permite "industria agropecuaria" bajo ciertas condiciones – una flexibilización probablemente necesaria (en particular, por el beneficiado de café) pero tan amplia que comienza el debilitamiento del esquema de consolidación industrial plasmado en el *Reglamento de zonificación parcial de áreas industriales en la GAM*.
- **1997.** Decreto Ejecutivo No 25902 del 12 de febrero, publicado en La Gaceta No 66, alcance 15 de ese año. A diferencia de otras modificaciones, este es un decreto ejecutivo aprobado por el Consejo de Gobierno y firmado por el entonces Presidente de la República José María Figueres y los ministros de Gobierno en las carteras de Vivienda y Asentamientos Humanos, Rebeca Grynspan, Ambiente y Energía, René Castro, y Presidencia, Marco Vargas. También, contraviniendo la práctica usual, no se modifican artículos e incisos específicos al decreto entonces vigente (No 13583-VAH-OFIPLAN de 1982) sino que se decreta una nueva redacción casi idéntica a la anterior. Así, solo es posible identificar los cambios si se compara párrafo por párrafo cada artículo e inciso de ambas versiones.
 - Las zonificaciones del plan regional dejan de estar vigentes a partir del momento en que se aprueba un plan regulador municipal (en cuyo caso pasa a regir precisamente esa zonificación municipal).
 - En la zona de protección, permite segregaciones agrícolas con áreas mínimas de 7000 m². Este tamaño probablemente corresponde al definido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería como mínimo requerido para producción agropecuaria, aunque la falta de transparencia de la reforma hace difícil determinar si en efecto esto es así (la regulación vigente hasta entonces asigna a este ministerio la tarea de definir el área mínima).
 - Restringe explícitamente a una por finca la cantidad de viviendas que puedan construirse en la zona de protección (agrícola) y la zona de protección forestal.
 - Autoriza la instalación de actividades industriales "inofensivas" e "incómodas" en la zona de protección, lo cual marca un cambio con respecto a la política regional de consolidación de actividades industriales hasta entonces vigente.
 - Exige, para las construcciones en la zona de protección, la aprobación de un estudio de impacto ambiental por parte de SETENA y la construcción de una planta de tratamiento de aguas servidas cuyo diseño debe ser aprobado por el ICAA y el Ministerio de Salud.
 - En la zona de protección forestal, autoriza la segregación en parcelas menores de 5 Ha. (que anteriormente estaba terminantemente prohibida) para

"propiedades sometidas al régimen forestal" – que es temporal – y deja la definición del tamaño mínimo al Ministerio de Agricultura y Ganadería.

- Adecua las zonas de protección de ríos a las disposiciones de la entonces recién aprobada Ley Forestal.
- Elimina la posibilidad de crear urbanizaciones fuera de los núcleos de población, que se había abierto en 1987.

La reforma es muy poco transparente. Tiene justificaciones contradictorias entre sí (e.g. 'reducir la migración campo-ciudad creando fuentes de trabajo en la zona de protección (agrícola)', por una parte, y 'evitar los costos adicionales del desarrollo urbano disperso, concentrándolo en núcleos de población' por otra²² – ambas frases parafraseadas de los considerandos del decreto). Permite usos del suelo claramente inapropiados en la zona de protección (en particular, industriales) y debilita el poder del INVU para restringir la urbanización de la zona de protección (eximiendo a la regulación municipal de cumplir con lineamientos regionales, como hasta entonces se había establecido). Desde el punto de vista de aportes positivos, se estableció la obligación del INVU de delimitar los cuadrantes urbanos y se derogó la posibilidad de urbanizar fuera de ellos para satisfacer la demanda de vivienda distrital (que ya no sería necesaria precisamente porque este factor se considera en la definición de las zonas de expansión de cada núcleo poblacional).

- **2000.** Emitido por el INVU el *Reglamento General de Desarrollo Urbano en los Cuadrantes Urbanos Habilitados por el Decreto Ejecutivo N° 25902*, aprobado el 9 de noviembre y publicado en La Gaceta No 244 del 20 de diciembre de 2000. Se definen los límites de los cuadrantes urbanos originalmente fuera del límite de crecimiento (el área de los cuadrantes y la zona designada para su expansión se convierte así en parte del área urbana de la región). Sin embargo, este cambio no es estrictamente una ampliación, pues la posibilidad de urbanizar en torno a los cuadrantes siempre existió. Resuelve la ambigüedad de hasta dónde llega un cuadrante urbano y cuáles zonas en torno a él cumplen con las condiciones para ser urbanizadas. No resulta del todo claro, dado que el texto original de la reforma de 1997 no está disponible, pero parece que este reglamento (del 2000) eliminó la disposición que permitía urbanizar las propiedades ubicadas sobre el límite de crecimiento urbano mismo (refiérase a las reformas realizadas en este sentido en 1983 y 1984).
- **2001.** Mediante el Decreto Ejecutivo No 29415-MP-MIVAH-MINAE (firmado por el entonces Presidente de la República Miguel Ángel Rodríguez y los ministros de Gobierno en las carteras de Vivienda y Asentamientos Humanos, Donald Monroe, Ambiente y Energía, Elizabeth Odio, y Presidencia, Danilo Chaverri), el Gobierno intentó reintroducir la urbanización fuera del límite de crecimiento en los términos en que existía antes de la definición de los cuadrantes urbanos, a saber: permitir urbanizaciones en la zona de protección, en terrenos no aptos para la agricultura, sin problemas de escorrentía y que no afecten a zonas de recarga, y no afectados por amenazas naturales. Debe hacerse notar que el nuevo Gobierno decretó la abolición de este decreto (mediante el Decreto Ejecutivo N° 30754-MP-MIVAH-MINAE del 17 de septiembre de 2002, publicado en La Gaceta No 197 del: 14 de octubre de ese mismo año, firmado por el entonces Presidente de la República Abel Pacheco y los ministros de

²² Nótese que la evidencia disponible sobre movimientos migratorios en la región señala que son desplazamientos locales (e.g. de una Municipalidad a la adyacente; Pujol et al., 2007); las concentraciones de pobreza en realidad fueron creadas por los frentes de vivienda y el Estado. La población no fue expulsada por falta de trabajo cercano sino por falta de vivienda. E incluso en estos casos, se trató de demanda por vivienda urbana popular insatisfecha antes que un fenómeno asociado a pobreza rural (véase Pujol et al., 2009; Solano y Mora, 1993, entre otros).

Gobierno en las carteras de Vivienda y Asentamientos Humanos, Helio Fallas, Ambiente y Energía, Carlos Manuel Rodríguez, y Presidencia, Rina Contreras) y que el mismo fue también declarado inconstitucional, retroactivamente hasta su promulgación, por la Sala IV de la Corte Suprema de Justicia en 2003.

- **2007.** Mediante el Decreto Ejecutivo 35747-MP-MINAET-MIVAH (firmado por el entonces Presidente de la República Óscar Arias y los ministros de Gobierno en las carteras de Vivienda y Asentamientos Humanos, Fernando Zumbado, Ambiente y Energía, Roberto Dobles, y Presidencia, Rodrigo Arias), el Gobierno intentó reintroducir la disposición que permitía urbanizar las propiedades ubicadas en el límite de crecimiento urbano, 200 m. más allá de este o un 50% de su área total (lo que resultara en menor área). El voto No 03684 declaró inconstitucional el decreto por no considerar "criterios técnicos y científicos que determinaran la viabilidad ambiental."
- **2010.** Mediante Decreto Ejecutivo No 35748-MP-MINAET-MIVAH (firmado por el entonces Presidente de la República Óscar Arias y los ministros de Gobierno en las carteras de Vivienda y Asentamientos Humanos, Clara Zomer, Ambiente y Energía, Jorge Rodríguez, y Presidencia, Rodrigo Arias), el Gobierno reintrodujo el decreto 35747-MP-MINAET-MIVAH, adicionando las palabras "Aprobada la viabilidad ambiental, en los cantones que no cuentan con Plan Regulador vigente y que en su territorio se definan zonas de moderada o alta fragilidad ambiental, respetando en un todo el Protocolo Ambiental autorizado por SETENA, permite [...]" antes de la disposición que permite la urbanización y agregando, después de ella, las palabras: "obligándose cada Gobierno Local, a aplicar esta normativa en los certificados de usos de suelo que otorgue." La incoherencia en este decreto es muy clara: la viabilidad ambiental que SETENA otorga se hace con base en proyectos específicos o propuestas de regulación. En este caso, se busca extrapolar el análisis de viabilidad ambiental del propuesto Plan PRUGAM 2008-2030 a la expansión (injustificada técnicamente) del límite de crecimiento urbano. Dado que no existe la más mínima similitud entre ambos, es evidente que el decreto presenta los mismos vicios que el inconstitucional No 35747-MP-MINAET-MIVAH²³.

Los cambios a la regulación pueden en general subdividirse en cuatro temas recurrentes:

- *El fraccionamiento agrícola.* En la versión original, estaba limitado a quienes tenían derechos adquiridos (acceso a servicios y vialidad públicos antes de la promulgación del plan en 1982) y a tamaños mínimos de 5 Ha. en 1983, se permitieron tamaños menores solo para usos agrícolas; este tamaño estaría definido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería. En 1997, se incorporó a la regulación el tamaño mínimo de 7000 m² para segregaciones.
- *La definición de núcleos poblacionales en la zona de protección (agrícola).* En la versión original (de 1982) del plan regional, los núcleos poblacionales ubicados más allá del límite de crecimiento urbano están explícitamente listados y se permite su expansión a no más de 200 m. de la cuadrícula existente. En 1987, se amplían los detalles de la definición. En 1997, se ordena al INVU delimitar los cuadrantes y sus zonas de expansión, lo cual es realizado en 2000 (dando fin a la ambigüedad sobre estas zonas de expansión).

²³ Nótese que el Plan PRUGAM 2008-2030 no ha sido aprobado por el INVU, de modo que no está legalmente vigente. De igual forma, debe señalarse que la cobertura de Índices de Fragilidad Ambiental (IFAs, parte del proceso de análisis de viabilidad ambiental del Plan PRUGAM) realizada en el marco de esta propuesta es *muy* imprecisa. Pese a la aprobación de SETENA, existen muy serias dudas de que estos IFAs puedan ser utilizados constructivamente en la definición de políticas de planificación espacial regionales.

- *Urbanizaciones fuera del cuadrante de los núcleos poblacionales en la zona de protección.* En la versión original, están prohibidas las urbanizaciones más allá de los cuadrantes de los núcleos poblacionales y las zonas inmediatamente adyacentes a ellas. En 1983, se permiten en dos casos: (a) a criterio del INVU, si se requieren para acomodar el crecimiento poblacional del distrito, (b) a criterio de instituciones técnicas del Estado si no son aptas para agricultura. En 1987, se amplía la posibilidad de crear urbanizaciones fuera de los cuadrantes y sus zonas de expansión para satisfacer el déficit existente de vivienda, y se enumeran las condiciones para permitir las (que no haya problemas de escorrentía ni de contaminación de zonas de recarga, que no tengan valor agrícola). En 1989, se añade como restricción que estas zonas no tengan aptitud para reforestación y usos forestales. En 1997, se prohíben totalmente las urbanizaciones fuera de los núcleos de población rurales. En 2001, se permiten de nuevo estas urbanizaciones en los mismos términos de 1987. En 2002, se prohíben de nuevo por decreto y en 2003, el decreto de 2001 (i.e. las condiciones de urbanización de 1987 y precedentes) se declara inconstitucional. Así, queda definitivamente prohibido urbanizar fuera de los núcleos y sus zonas de expansión en la zona de protección.
- *Urbanizaciones en las propiedades sobre el límite de crecimiento.* En 1982, estaban prohibidas. Se permiten en 1983 y en 1984, se define por primera vez las condiciones para urbanizarlas: (a) estar a menos de 100 del límite y (b) urbanizar no más del 50% del área o no más de 200 más allá del límite de crecimiento urbano (el área que resultara menor). Esta disposición se prohíbe en el 2000 – por ser innecesaria. Se reintroduce en 2007, argumentando falazmente que el límite de crecimiento causa escasez de tierra. Se declara inconstitucional en 2009. Se reintroduce, con algunos cambios (poco coherentes) en 2010. Actualmente, la constitucionalidad de la nueva versión está siendo analizada.

Los constantes intentos, por parte de políticos de alto nivel, de permitir la construcción de urbanizaciones y la resistencia del sistema institucional sugieren una tensión no resulta entre los requerimientos técnicos de mitigación de impactos ambientales y los intereses de ciertos desarrolladores inmobiliarios. Este conflicto se origina por no haberse delimitado el espacio de expansión en los núcleos rurales (en la versión original del plan regional en 1982) y por las casuísticas argumentaciones que, unos años más tarde, se aplicaría para justificar intervenciones en tomas de tierra fuera del límite de crecimiento. Las soluciones muy imperfectas (la posibilidad de urbanizar tierras no aptas para agricultura y las propiedades en el límite de crecimiento) a estos dos problemas (ausencia de delimitación de los núcleos urbanos más allá del límite de crecimiento y argumentaciones falaces sobre escasez del suelo) – problemas que no han existido desde hace muchos años – se han retomado una y otra vez no por su potencial para incidir sobre las necesidades de la región sino por los valiosos negocios inmobiliarios que pueden realizarse en la zona de protección.

Más generalmente, el límite de crecimiento define una restricción a la zonificación y sobre todo al fraccionamiento de propiedades para usos urbanos. Como tal, tiene un efecto sobre el gradiente de precios análogo al predicho por Knaap (1985): debería aumentar la renta dentro del límite de crecimiento y se aproximadamente constante fuera de él. Sin embargo, dada la poco estricta aplicación de la normativa y la gran cantidad de área dentro del límite de crecimiento, sería de esperar que su efecto fuera relativamente débil. En particular, el fraccionamiento agrícola permite la instalación de residencias suburbanas de baja densidad más allá del límite de crecimiento y se puede urbanizar una gran área a lo largo del límite de crecimiento mismo.

Planes reguladores en la zona de estudio

De acuerdo con la Ley de Planificación Urbana, los planes reguladores definen seis reglamentos:

- Zonificación, que trata de usos del suelo permitidos en distintas zonas
- Vialidad, referente a la regulación de la red vial municipal y su jerarquización
- Renovación urbana, que se ocupa de reservar ciertas zonas para intervenciones públicas de gran escala
- Construcción – cuando existe, una actualización de las normas constructivas definidas por el INVU
- Fraccionamiento y urbanizaciones, que trata de la infraestructura pública que debe aportar un urbanizador a la Municipalidad y los tamaños de los fraccionamientos en distintas zonas
- Mapa Oficial, un inventario de todas las propiedades públicas de la Municipalidad

Un análisis realizado por ProDUS-UCR (Pujol, Pérez et al., 2006) permitió sintetizar el estado de la regulación municipal vigente en ese momento en la GAM. De 21 planes reguladores propuestos o vigentes en la GAM en 2005, 19 incluían reglamentos de zonificación y 16 alguna disposición de vialidad. Paradójicamente, solo tres tenían un reglamento específico de fraccionamiento y otros cuatro, disposiciones dispersas en el reglamento de zonificación. En el Área Metropolitana de Heredia, Santo Domingo, San Rafael, San Isidro, Belén y Flores tenían regulación propuesta o vigente. Las propuestas de San Rafael y San Isidro tenían algunas disposiciones de fraccionamiento en tanto que todos los planes propuestos incluían zonificaciones de uso del suelo.

El análisis de incompatibilidades en la zonificación propuesta realizado por Pujol et al. (2006), que compara la zonificación a ambos lados del límite cantonal entre cada dos jurisdicciones, revela pocos problemas: las zonas agrícolas propuestas en Santo Domingo colindan con zonas agrícolas de San Isidro – el plan regulador de San Isidro siendo ligeramente menos restrictivo que la propuesta (no vigente) de Santo Domingo. La incompatibilidad entre la propuesta de San Rafael y el plan vigente en Santo Domingo es mayor: al norte, ambos cantones comparte una zona de protección pero en la sección central, San Rafael incluye zonas de protección que corresponden a zonas agrícolas de San Isidro. Y al sur, al oeste del límite (San Rafael), existen zonas agrícolas en tanto que al este (San Isidro) son zonas de usos mixtos. Sin embargo, como bien señalaban Pujol, Pérez et al. (2006), y que continúa siendo cierto cinco años después, el principal problema es la ausencia total de regulaciones en muchos cantones. En la zona de estudio, dos localizaciones centrales (Heredia y San Pablo) no cuentan con ninguna regulación municipal vigente o propuesta, al igual que Barva y Santa Bárbara.

Desde entonces, se han desechado la propuesta de plan regulador de Flores por deficiencias de la propuesta en cuanto a impacto ambiental (sin embargo, la Contraloría General de la República lo registra como un cantón con un plan vigente). El plan regulador de San Isidro ha sido aprobado. Otros cantones de la zona de estudio (Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael) no cuentan sino con la propuesta – que no está siendo implementada (véase Contraloría General de la República, 2010).

El mapa 1 muestra la variación del coeficiente de edificabilidad estimado²⁴ en la zona de estudio (se añadió el cantón de Belén como parámetro de comparación pues tiene el plan regulador

²⁴ La regulación costarricense tradicionalmente fija un límite de altura, en cantidad de pisos y en metros, y un porcentaje máximo del lote que puede ser cubierto por construcción (porcentaje de cobertura). El

más antiguo y establecido de subregión Heredia). En general, los coeficientes de edificabilidad son relativamente bajos: están por debajo de 4 excepto en Belén a lo largo de la ruta nacional 1. La cuadrícula central de Santo Domingo tiene coeficientes de entre 3,6 y 4,5 (excepto alrededor de la Iglesia, probablemente por razones arquitectónicas), al igual que el centro de San Isidro. Es interesante resaltar que el área en este rango es mayor para San Isidro que para Santo Domingo – pese a que Santo Domingo tiene una posición mucho más central. El sur de San Rafael (que en la práctica funciona como zona de expansión de Heredia) y San Isidro (junto a las vías) presentan coeficientes que varían entre 0,9 y 1,8. Las zonas agrícolas de San Rafael y San Isidro – más allá del límite de crecimiento urbano – tienen coeficientes menores a 0,9, lo cual refleja porcentajes de cobertura por debajo del 25% en general, y menores al 10% en el norte (véase mapa 3).

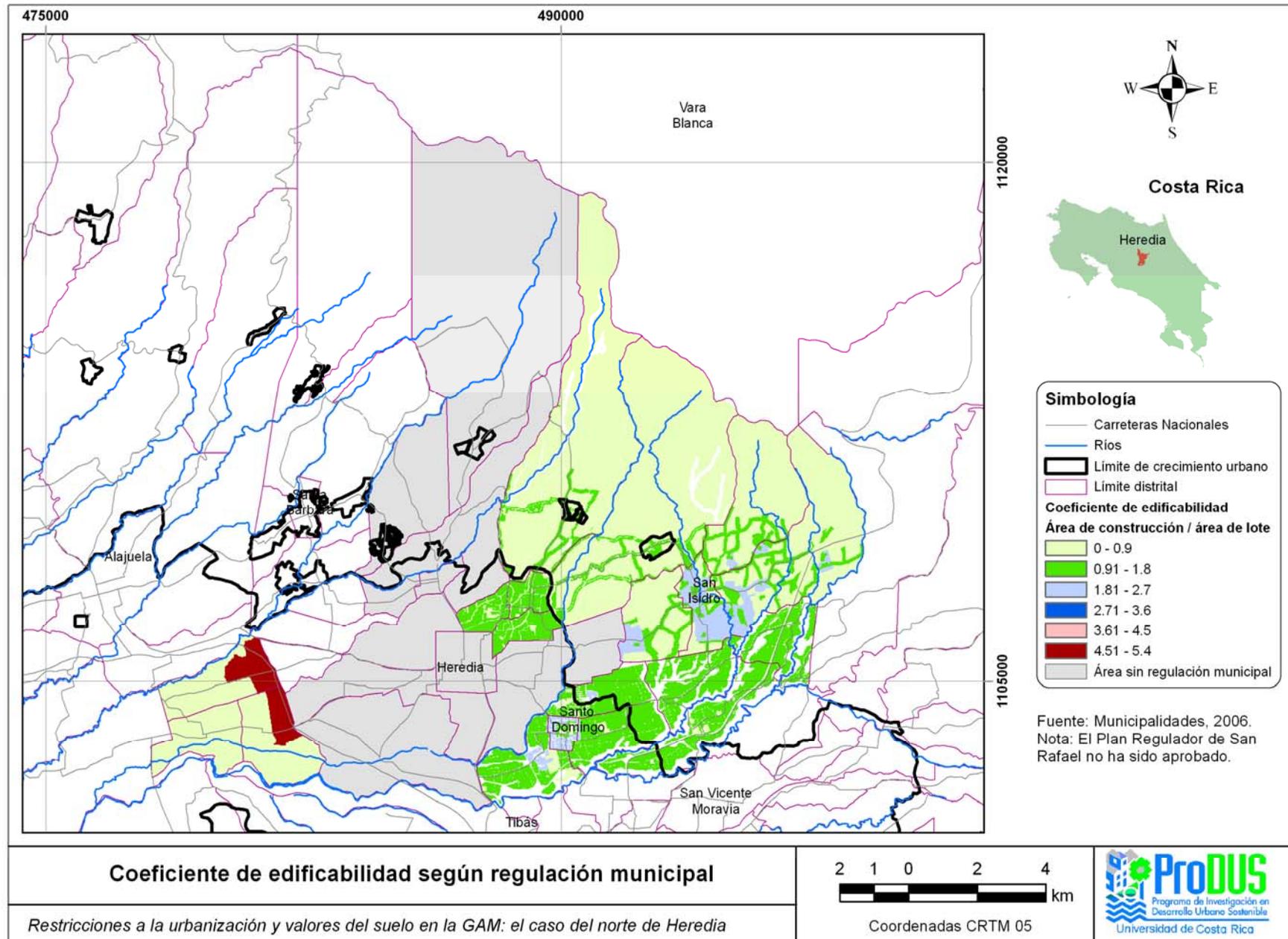
Dos elementos deben resaltarse del mapa 1: San Rafael tiene coeficientes bajos para su cuadrícula central – a diferencia de Santo Domingo y San Isidro – y Santo Domingo no tiene grandes diferencias entre su parte suroeste (dentro del límite de crecimiento) y noreste (fuera del límite de crecimiento). Sí se protegen con mayor agresividad las riberas de los ríos y el coeficiente de Santo Domingo para estas zonas no es muy alto (un máximo de 1,8) pero no existe sinergia entre las políticas regionales y la regulación municipal (propuesta) de este cantón.

coeficiente de edificabilidad es el producto de ambos. El efecto conjunto de límites de altura y de cobertura es análogo al efecto regulatorio de un coeficiente de edificabilidad: limita el volumen construible en función del tamaño del lote (porcentaje de cobertura) y de su localización (pues el límite de altura y el porcentaje de cobertura varían según zonas). Esta restricción de volumen construible, a su vez, limita la densidad máxima de actividades urbanas que puede acomodar una localización determinada.



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

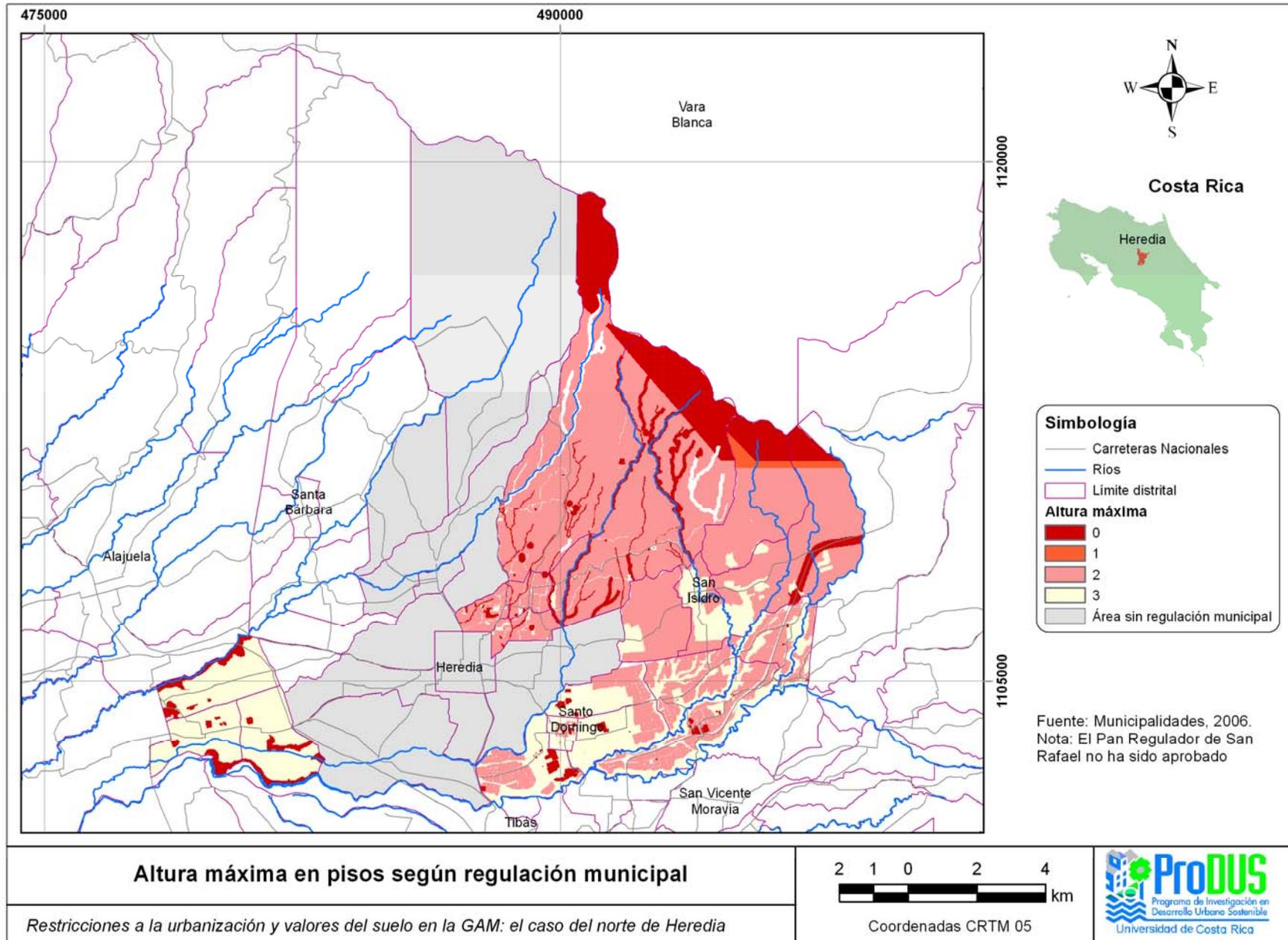
Mapa 1. Coeficientes de edificabilidad en la zona de estudio





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

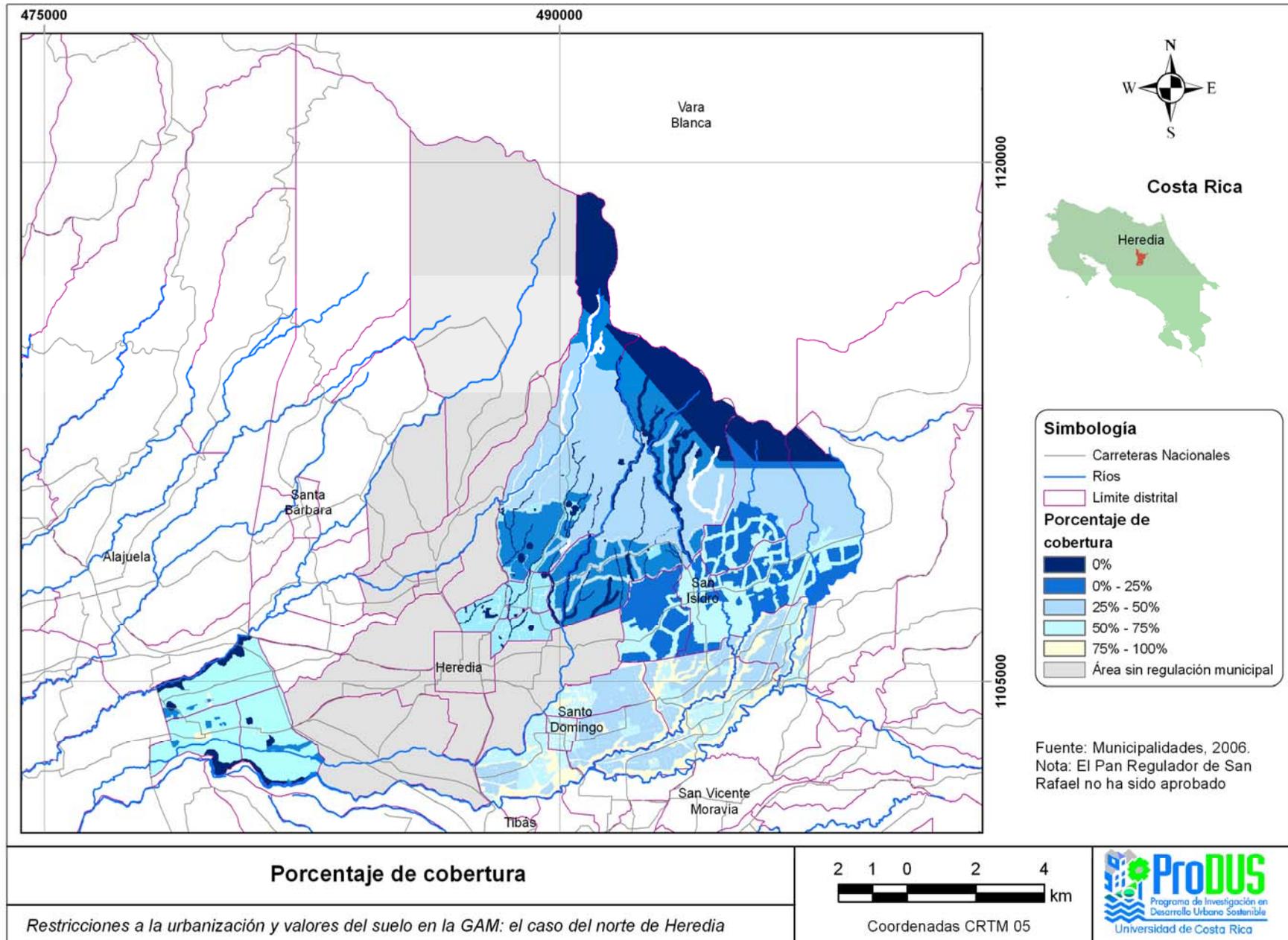
Mapa 2. Altura máxima en la zona de estudio





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 3. Porcentaje de cobertura máximo en la zona de estudio





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Sección 7. Aguas subterráneas: el recurso hídrico en la zona de estudio

Esta sección describe la disponibilidad de agua, en particular aguas subterráneas, en la zona de estudio: la disponibilidad de agua, la zona de recarga, el uso que se le da a esa agua, así como el grado de contaminación. Incluye también una discusión sobre los nitratos y nitritos (el principal contaminante en la zona).

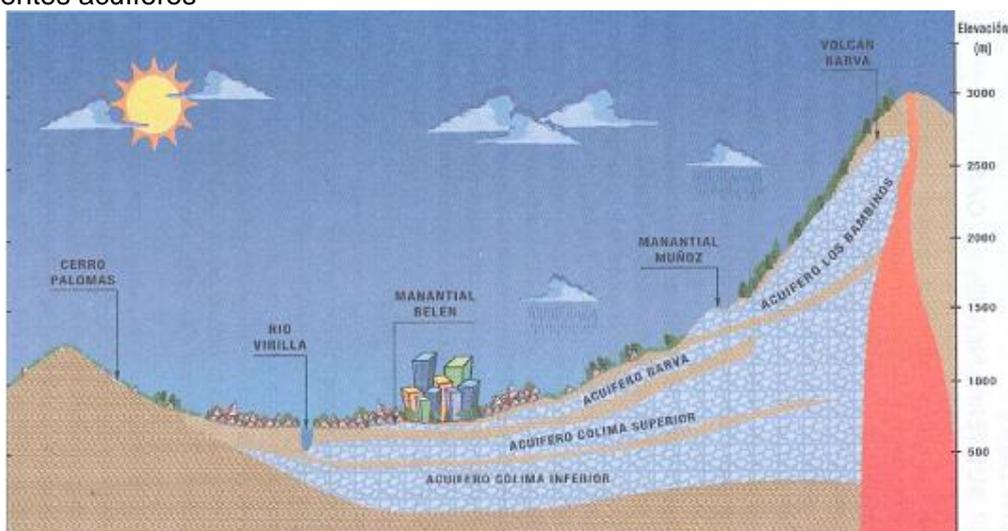
7.1. Descripción del recurso

El área de estudio está formada mayoritariamente por rocas volcánicas. Entre ellas, las más apropiadas para formar acuíferos son las lavas que presentan una fracturación adecuada. La recarga a los acuíferos se produce por infiltración de la fracción del agua de lluvia que queda después de eliminar lo correspondiente a escorrentía superficial y a evapotranspiración. Se conocen áreas en las que existen varios horizontes acuíferos y donde la recarga a los de mayor profundidad se realiza por percolación vertical del agua de los acuíferos de menor profundidad a través de capas de piroclastos de baja permeabilidad.

Ejemplo de estos casos lo constituyen los acuíferos Barva y Colima, en donde según estudios de simulación hechos (SENARA/BGS, 1988) los primeros recargan al segundo a través de una unidad de tobas, aunque estudios posteriores (Protti, 1998) concluyeron que la recarga a los acuíferos Colima se produce en gran medida en la zona este del Valle Central, en donde el acuífero Barva está ausente.

Sin embargo, la presencia de compuestos orgánicos volátiles detectados recientemente en pozos del acuífero Colima Superior sugiere que existe una comunicación hidráulica entre ambos estratos. Este hecho fue confirmado por la presencia de nitratos y su variación a lo largo del tiempo en el acuífero Colima, en zonas que subyacen el estrato acuífero Barva (Reynolds, 2006). Es evidente que los materiales, probablemente altamente fracturados, que separan los acuíferos Barva y Colima Superior son insuficientes para impedir el flujo vertical de agua.

Figura 1. Sección transversal idealizada de la Cuenca del Río Virilla mostrando los diferentes acuíferos



Fuente: Reynolds, 2002

Los acuíferos más productores, y sobre los que se han hecho estudios más detallados son los acuíferos Colima, los que están presentes en una vasta área de la vertiente norte del río Virilla y que se extienden a grandes rasgos desde Ciruelas hasta San Luis de Santo Domingo. Se ha calculado (SENARA/BGS, 1988; TAHAL, 1990) que la recarga a estos acuíferos es del orden de los 5500 l/s (litros/segundo) a 8000 l/s (170 millones a 252 millones de metros cúbicos al año). Abastecen una cantidad de pozos para abastecimiento público y privado y de ellos brotan importantes manantiales como La Libertad, Puente de Mulas y Potrerillos, los cuales son empleados para abastecimiento público.

También se encuentran los acuíferos Barva, que abarcan las áreas ubicadas de manera aproximada en las mitades altas de las cuencas de los ríos Alajuela, Ciruelas, Segundo y el sector noreste de la cuenca del río Bermúdez, cubriendo una extensión de 135 km² (Losilla et al., 2001) y abasteciendo una gran cantidad de pozos y manantiales.

En el mapa de localización de acuíferos (mapa 2) se delimitan, además de los ya mencionados, otras unidades de importancia hidrogeológica. Debe decirse que la información fuera de la cuenca del río Grande de Tárcoles es sumamente escasa, por lo que los límites de los acuíferos en esas áreas se generaron a partir de datos de gran escala.

En el cuadro 1 se muestran las áreas de acuerdo con el uso del suelo de los años 2005 y 2008 (véase uso del suelo en mapa 5) en cada una de las unidades acuíferas clasificadas como muestra el mapa 2.

Cuadro 1. Usos del suelo (2005, 2008) en unidades acuíferas de zona de estudio

Acuífero	Urbano		Cultivos		Pastos		Bosque	
	Área (Ha)	%						
Volc. med. prod.	727,1	23,8	1054,2	34,5	937,9	30,7	297,1	9,7
Barva	2133,2	31,8	2311,0	34,4	1334,6	19,9	784,1	11,7
Los Ángeles	297,4	20,9	217,9	15,3	653,1	45,8	251,7	17,7
Los Bambinos	9,2	0,3	227,9	8,2	731,2	26,4	1482,2	53,5
Colima	1338,5	42,7	1017,4	32,4	514,9	16,4	226,6	7,2
Baja producción	19,7	1,1	2,57	0,1	515,6	28,4	1252,3	68,9
TOTAL	4525,2	23,9	4831,1	25,5	4687,3	24,8	4294,1	22,7

Acuífero	Suelo desnudo		Cuerpos de agua		Sin datos		Total
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)
Volc. med. prod.	7,7	0,3	0,5	0,02	26,6	0,9	3051,2
Barva	146,0	2,2	0,4	0,01	0	0	6709,4
Los Ángeles	5,5	0,4	0,1	0,01	0	0	1425,8
Los Bambinos	74,8	2,7	0,5	0,02	246,7	8,9	2772,5
Colima	38,5	1,2	2,1	0,07	0	0	3138,0
Baja producción	3,1	0,2	0,0	0,00	23,2	1,3	1816,4
TOTAL	275,6	1,5	3,6	0,02	296,4	1,6	18913,3

Se destaca en colores los mayores porcentajes de área de acuífero cubierta para los usos urbano, cultivos, pastos y bosques. Fuentes: Pujol et al., 2004; CARTA 2005; DigitalGlobe (2009)

En el mapa 5 se presenta el uso del suelo del área de estudio y sus alrededores para el año 2005, sin embargo se utilizó además una actualización de estos datos para el año 2008, que abarca gran cantidad del área de estudio y cuyo límite se indica claramente en dicho mapa.

Nótese que gran parte de la superficie que cubre los acuíferos Barva y Colima presentan un uso urbano, aproximadamente un 32% y un 43% respectivamente (porcentajes destacados en rojo en el cuadro 1) y son estos precisamente los acuíferos de mayor importancia por razones de producción y abastecimiento, como se mencionó anteriormente, por lo que son además los de mayor vulnerabilidad ante el uso urbano debido a la impermeabilización del suelo y a la contaminación que provocan las prácticas empleadas en la actualidad para el manejo de las aguas residuales, lo cual se explica adelante.

También es importante destacar que la superficie de estos dos acuíferos abarcada por cultivos es considerable (porcentajes destacados en amarillo), lo que representa también un problema de contaminación debido al uso de fertilizantes. Los mayores porcentajes de superficie cubierta por bosque corresponden a acuíferos de baja producción ubicados en las partes altas de la zona (porcentajes destacados en verde).

No hay evidencia de que los acuíferos de esta zona reciban agua subterránea de la vertiente Atlántica. Es importante aclarar que la recarga en el acuífero Colima Superior no está determinada únicamente por los cambios climáticos que se produzcan en la vertiente del Pacífico, ya que existe influencia de la precipitación del Caribe, al menos durante algunos meses del año, debido a que el vapor proveniente del Caribe es transportado hacia el lado Pacífico de la Cordillera Volcánica Central, por masas de aire que logran atravesarla.

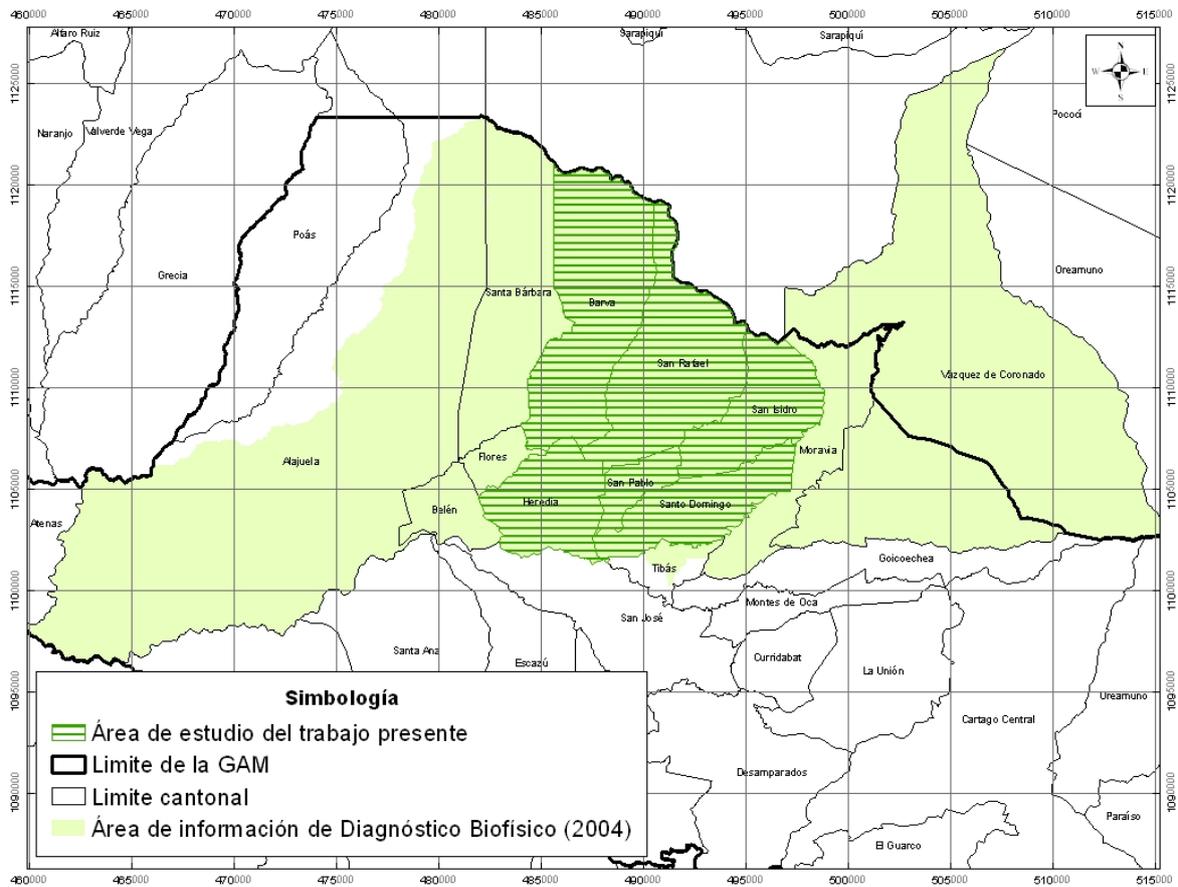
De hecho, se puede asegurar que las fuentes de humedad de la región central provienen tanto del océano Pacífico como del mar Caribe, debido a que algunos pozos y manantiales del acuífero Barva manifiestan una coincidencia con la composición isotópica de las masas de aire provenientes de ambos océanos (Reynolds, 2009).

En 1998, ABT Assoc. y otros realizaron una zonificación de la producción por pozo de los acuíferos dentro de la vertiente Pacífica del área de estudio. En esa ocasión se consideró la producción promedio de los pozos totalmente penetrantes (pozos que atraviesan todo el espesor del acuífero), el caudal de los manantiales que drenan al acuífero considerado y una profundidad económicamente aprovechable.

La zonificación anterior fue extendida a los sectores localizados en la vertiente Atlántica en el Diagnóstico Biofísico, para el Proyecto Adaptación del Sector Hídrico al Cambio Climático. (Pujol et al., 2004)²⁵. De aquí se obtiene el área de información que se muestra a continuación junto con el área de estudio del presente trabajo:

²⁵ La Consultoría de hidrogeología incluida en ese proyecto fue realizada por el Hidrogeólogo Hugo Rodríguez.

Mapa 1. Área de estudio del presente trabajo



Fuente: Pujol et al., 2004

La información con que se cuenta en los sectores de la vertiente Atlántica es muy escasa, inclusive gran parte de ellos no se encuentran poblados y no hay ni siquiera pozos. La zonificación de estos sectores se hizo con base en las condiciones geológicas generales y por lo tanto están más sujetas a cambios conforme se avance en las investigaciones detalladas. Con base en esas consideraciones se definieron las categorías A, B y C que se presentan en el mapa 3 y cuyas descripciones son las siguientes.

Zona A. Acuíferos de potencial alto

En general lavas y brechas diaclasadas de edad reciente de muy alta permeabilidad fisural; acuíferos con producciones promedio por pozos de más de 50 l/s y manantiales de 400 a 500 l/s y aún mayores en ciertos sectores. Incluye los acuíferos Colima en la margen derecha del río Virilla hasta la ubicación aproximada de la zona en donde los acuíferos no son fácilmente accesibles por encontrarse a profundidades mayores a las alcanzables de manera práctica. Posiblemente estos acuíferos se extiendan más al norte del límite ahí señalado.

Zona B. Acuíferos de potencial medio

Acuíferos cuyas producciones promedio por pozo van de 5 a 15 l/s, con manantiales de entre 100 y 150 l/s. Formados por lavas fracturadas de origen reciente asociados a la construcción de

los estratos de los volcanes Barva y Poás. Incluye los acuíferos Barva. Dentro de esta categoría podría haber sectores de mayor producción, especialmente hacia la zona del flanco medio de los volcanes Barva y Poás pero no existe información hidrogeológica a más de 200 metros de profundidad.

Zonas C. Acuíferos de potencial bajo

Las producciones por pozo son menores a los 5 l/s y los manantiales rinden menos de 20 l/s. Formados por lavas de poco espesor y menor fracturación y por capas de piroclastos de permeabilidad baja.

A continuación se muestran las áreas según el tipo de uso del suelo en cada una de las zonas anteriores, así como el porcentaje correspondiente de cada uno con respecto al área total.

Cuadro 2. Usos del suelo (2005, 2008) según la clasificación de la zona por potencial acuífero

Potencial	Urbano		Cultivos		Pastos		Bosque	
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%
Alto	2615,4	50,6	1435,5	27,8	735,1	14,2	274,5	5,3
Medio	169,7	3,3	981,8	19,0	1584,9	30,09	2139,4	40,6
Bajo	19,7	1,1	2,6	0,0	515,6	28,4	1252,3	68,9
TOTAL	2804,8	22,9	2419,9	19,7	2835,6	23,1	3666,2	29,9

Potencial	Suelo desnudo		Cuerpos de agua		Sin datos		Total
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)
Alto	109,7	2,1	2,1	0,04	0	0	5172,3
Medio	140,9	2,7	0,9	0,02	249,2	4,73	5266,8
Bajo	3,1	0,2	0,0	0,00	23,2	1,28	1816,4
TOTAL	253,8	2,1	2,9	0,02	272,3	2,2	12255,6

Se destaca en colores los mayores porcentajes de área de acuífero cubierta para los usos urbano, cultivos, pastos y bosques. Fuentes: Pujol et al., 2004; CARTA, 2005; DigitalGlobe, 2009

Como se mencionó anteriormente, más de la mitad de la superficie sobre los acuíferos de alto potencial en el área de estudio presenta un uso urbano, según muestra el cuadro 2, mientras que la mayor parte del bosque que se ha conservado ha sido en áreas donde los acuíferos presentan potenciales bajo y medio.

7.2. Recarga

La recarga de estos acuíferos se concentra probablemente, en los meses de julio a diciembre, que es cuando los suelos se encuentran saturados. De enero a abril, los meses de la estación seca, las tasas de recarga probablemente disminuyan, con excepción de las áreas de mayor elevación, donde la precipitación continúa durante todo el año.

Como se mencionó, la recarga de los acuíferos se produce por la infiltración de una fracción del agua de lluvia, que puede alcanzar de un 30 a un 55% (Reynolds, 2009), sin embargo, conforme aumenta el área de urbanización, esta fracción de agua infiltrada disminuye, lo que representa un serio problema como consecuencia del crecimiento sin control. Por lo que es necesario implementar sistemas que permitan infiltrar el agua llovida en las zonas urbanizadas;

por ejemplo drenajes a la salida de los bajantes de las canoas, como medida para mitigar los efectos de la impermeabilización, lo que a su vez ayudaría a disminuir las inundaciones que se producen aguas abajo, que han ocasionado enormes daños en cuencas como la del Río Bermúdez (véanse artículos de La Nación “Aguacero de ayer destruyó al menos 11 casas en barriadas de Santo Domingo de Heredia”, “Lluvia obliga a cerrar puentes en Heredia y San Carlos”, del 21 de julio de 2010 y “Caos urbano y basura disparan inundaciones en 45 cantones”, del 21 de agosto de 2010).

La infiltración en general se lleva a cabo a lo largo de toda el área de estudio, con excepción de aquellas áreas que se señalan como acuíferos de baja producción en el mapa de delimitación de acuíferos. No se han hecho delimitaciones detalladas de las áreas de recarga excepto para los acuíferos Colima (SENARA/BGS, 1988).

En el mapa 4 se muestran los valores de recarga promedio de los acuíferos Colima, basados en la referencia recién mencionada y contruidos por Rodríguez (1992). Ahí la recarga se expresa como lámina de agua en mm/año. Los mayores valores de recarga se encuentran en la parte norte, en donde se presentan magnitudes de hasta 1800 mm/año y disminuyen hasta hacerse nulos en su límite sur y noroeste. Debe considerarse que dentro de esta área de recarga a los acuíferos Colima se encuentra el acuífero Barva, el cual transfiere agua a los Colima.

Los ríos de la parte media de la cuenca del Virilla realizan aportes de caudal significativos a estos acuíferos. Para determinar la ocurrencia de recarga en ciertos tramos donde algunos de estos ríos presentan una disminución de su caudal se han realizado aforos (Rodríguez, H., datos no publicados; Laboratorio de Hidrología Ambiental, datos no publicados). Sin embargo, se tiene la limitación de que estas mediciones no han sido exhaustivas ni sistemáticas, por lo que no se tienen resultados exactos de los volúmenes de agua que ingresan a los acuíferos desde la compleja red hídrica superficial.

7.3. Calidad del agua

La calidad físico química natural del agua subterránea puede definirse como excelente en esta zona, sin embargo hay evidencias de que esta calidad está cambiando. Estudios realizados por la Universidad Nacional (Reynolds y Fraile, 2000) indican que en algunos sitios del Valle Central la concentración de nitratos ha alcanzado o superado en una o más ocasiones la concentración máxima recomendada y que en algunos puntos se presenta una tendencia creciente que podría provocar que en unos años la concentración de este compuesto supere las normas, y que el agua no sea apta para consumo humano (véase parte 7.5).

Rodríguez (1993) hizo estimaciones acerca del origen de los nitratos tomando en cuenta la cantidad de nitrógeno potencialmente aportado por los sistemas de drenaje que complementan el uso de los tanques sépticos y sus posibilidades de alcanzar los acuíferos; también calculó el posible aporte de estos compuestos a causa de los fertilizantes. En esa ocasión se concluyó que estos sistemas de drenaje eran los proveedores más importantes de nitratos.

En el estudio de Reynolds y Fraile (2000) se trató de hallar el origen de los nitratos mediante técnicas isotópicas, y se obtuvo como resultado que en las zonas urbanas éstos provenían de desechos humanos, posiblemente por infiltraciones de los efluentes de las zonas de drenaje complementarias a los tanques sépticos, sistema ampliamente utilizado en el área. En las zonas semi urbanas había una mezcla de usos del suelo entre urbano y cultivos de café y la identidad isotópica no era tan clara, pero se sugiere que los nitratos provenían tanto de desechos humanos como de fertilizantes químicos. Adicionalmente, este estudio señaló que el hecho de

que estos compuestos hubieran podido alcanzar a los acuíferos indicaba indirectamente que otras sustancias peligrosas podían estar en camino o se encontraban ya en las aguas subterráneas.

Se cuenta con datos de estudios publicados más recientemente (2006) por estos últimos autores (cuadro 1, mapa 5), que se obtuvieron mediante el análisis de muestras de veinte sitios diferentes del Valle Central abastecidos por estos acuíferos, que incluyen tanto nacientes como pozos y para los cuales se tienen valores de concentraciones de nitrato, además de las fuentes que generan esta contaminación, mediante el uso de isótopos estables (^{18}O y ^{15}N).

Estos resultados demostraron que la principal causa de contaminación por nitrato de los acuíferos es el uso los sistemas de drenaje complementarios a los tanques sépticos como método de evacuación de aguas residuales, aunque el uso de fertilizantes para agricultura, principalmente cafetales, también realiza un aporte considerable, aunque éstos hayan disminuido en la zona en los últimos años.

Este cambio del uso de suelo de agrícola a residencial, sin un adecuado sistema de evacuación de aguas residuales, produce un incremento de aproximadamente un 40% en la carga contaminante de nitrato (Reynolds y Fraile, 2009). En zonas donde sí se dispone de alcantarillado sanitario, se presentan bajas concentraciones de nitrato que no tienden a aumentar.

Aunque no se observaron promedios de concentración de nitrato mayores a los 10 mg/L, la tendencia creciente que siguen varios de los sitios de análisis representa un verdadero problema. De hecho si se continúa con las condiciones actuales, en un periodo de entre diez y cuarenta años, cinco de los sitios muestreados no van a ser aptos para consumo humano. En el mapa 5 se muestran los sitios de muestreo, numerados conforme al cuadro 3.

Cuadro 3. Valores promedio de concentraciones de nitrato en pozos y nacientes abastecidos por los acuíferos Barva y Colima

Pozo	Nombre del sitio	Acuífero	Elevación (msnm)	Años de muestreo	Sistema de disposición en zona de contribución*	Concentración promedio de NO ₃ -N (mg/L) y desviación estándar	Rango de concentración de NO ₃ -N (mg/L)
1	CICAFE	Barva	1175	1988-2001	TS	2,3 (± 1,0)	0,16–4,74
2	San Joaquín	Colima superior	1045	1990-2001	TS	1,0 (± 0,6)	0,30–3,16
3	La Esperanza	Colima superior e inferior	1060	1990-1999	TS	4,3 (± 1,8)	0,99–8,36
4	Barreal	Colima superior	985	1991-2001	TS	4,6 (± 2,0)	0,89–8,38
5	W5	Colima superior e inferior	1085	1990-2001	TS	1,5 (± 0,9)	0,63–4,74
6	W2	Colima superior e inferior	1050	1990-2001	TS	5,0 (± 1,1)	1,58–7,91
7	Miravalles-Guaitil	Sin clasificar	1125	1997-2001	RA	1,9 (± 1,0)	0,90–4,15
8	PRENAC_1	Sin clasificar	1175	1997-2001	RA	0,8 (± 0,2)	0,59–1,24
9	PRENAC_2	Sin clasificar	1171	1997-2001	RA	1,8 (± 0,5)	0,67–2,56
10	Café Rey	Sin clasificar	1175	1997-2001	RA	0,8 (± 1,2)	0,02–3,57
11	Motel Camino Nuevo	Sin clasificar	1172	1997	TS	4,03	3,80–4,26
Naciente							
1	Perez	Los Bambinos	1710	1988-2001	TS	0,5 (± 0,4)	0,03–2,49
2	Birrí	Barva	1345	1988-1997	TS	0,7 (± 0,3)	0,07–2,15
3	Guachipelín	Barva	1190	1988-2001	TS	3,0 (± 1,1)	0,64–5,87
4	León Cortés	Barva	1100	1997-2001	TS	6,3 (± 0,6)	5,01–6,88
5	Ojo de Agua	Barva	900	1988-2004	TS	4,9 (± 1,5)	1,65–9,94
6	Belén	Barva	940	1988-2004	TS	7,9 (± 2,5)	2,06–18,52
7	Puente de Mulas	Colima superior	850	1990-2004	TS	5,8 (± 0,9)	3,84–8,80
8	Potrerosillos	Colima inferior	750	1990-2001	TS	1,8 (± 0,3)	1,13–1,97
9	La Libertad	La Libertad	1020	1990-2002	TS	7,0 (± 1,3)	4,74–12,42

*"TS" hace referencia al sistema de disposición con tanque séptico más zona de drenaje. "RA" se refiere a Red de alcantarillado, la cual no incluye necesariamente el uso de una planta de tratamiento. Fuente: Reynolds et al. (2006)

En relación con la calidad bacteriológica, Valiente y González (2000) señalaron que no existía una contaminación regional en los acuíferos del Valle Central, sino más bien una contaminación local en algunos puntos debido a condiciones propias del entorno de los sitios de muestreo. Sin embargo, debido a que existe evidencia de que ríos contaminados realizan aportes a los acuíferos, es posible una contaminación de estos además de las condiciones puntuales, lo cual se explica adelante.

Existe evidencia de esta situación desde los años ochenta, como se puede observar en el cuadro 4, que muestra un análisis microbiológico realizado entre 1981 y 1982, a partir de 58 muestras de la zona abarcada por la unidad geográfica Barva, tomadas de distintos sitios como tanques de captación y nacimientos, ríos, quebradas y directamente de los grifos de casas.

En ese momento la conclusión a la que se llegó es que las aguas no recibían el tratamiento necesario para su purificación, ya que en algunos casos se presentaban hasta 1100 NMPF/100 (Número más probable de coliformes fecales), mientras que según MINSA (Ministerio de Salud), el agua que sale de los grifos de las casas no debe contener coliformes fecales.

Cuadro 4. Número más probable de coliformes fecales (NMPF) en 58 muestras del área de estudio

Lugar de toma de la muestra	Total de muestras		Muestras contaminadas		Muestras no contaminadas		NMPF
	Abs.	Rel. %	Abs.	Rel. %	Abs.	Rel. %	
Tanques y nacimientos	20	34,5	11	55,0	9	45,0	6,2 - 460
Ríos y quebradas	4	6,9	4	100,0	-	-	210 - 1100
Grifos de casas	34	58,6	26	76,5	8	23,5	3 - 1100
TOTAL	58	100	41	70,7	17	29	

Fuente: Monge (1986)

Como se mencionó anteriormente, se tiene evidencia de que los ríos en la parte media de la cuenca del río Virilla son un componente significativo de la recarga de estos acuíferos. Estos cauces de agua se encuentran altamente contaminados debido a que son utilizados para la disposición de desechos líquidos y sólidos de todo tipo. Esto tiene implicaciones importantes, principalmente en el Valle Central, ya que el abastecimiento de agua potable se da en su mayoría por aguas del subsuelo, por lo que se hace necesario garantizar la sostenibilidad del uso del recurso.

Tanto el acuífero Barva como el acuífero Colima Superior son altamente vulnerables a la contaminación, por lo que es urgente la puesta en práctica de medidas más adecuadas de manejo de desechos y de protección de aguas superficiales y subterráneas, así como la necesidad de preservar la zona boscosa en las cercanías del Volcán Barva.

7.4. Importancia de la zona como abastecedor de agua. Uso actual

Es importante aclarar que según la Ley de Aguas, es necesaria una autorización para el aprovechamiento de las aguas públicas. Esa autorización la concede el Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), para disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia de las aguas de dominio público. Toda persona que esté disfrutando de un derecho de aguas, deberá exhibir la concesión que tenga para ejercer ese derecho.

Por otra parte, el Servicio Nacional de Agua Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) mantiene una base a nivel nacional con información de pozos, a los que se han realizado pruebas para determinar el nivel estático, profundidad del pozo, caudal explotable y litología, entre otros. Esta base incluye el uso del caudal del pozo y ubicación geográfica.

Con la finalidad de tener una idea del uso del agua subterránea en el área de estudio se revisaron los archivos de concesiones de uso de agua de pozos y nacimientos del Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) y se solicitaron los registros de pozos del Servicio de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) del área de estudio. A continuación se muestra los caudales separados por categorías de uso.

Cuadro 5. Concesiones de agua de pozos de MINAET en área de estudio

Uso	Cantidad	Caudal (L/s)	Porcentaje (%)
Acueducto Rural	2	16	2,5
Agroindustrial	10	87,44	13,9
Consumo humano	83	388,41	61,7
Industria	6	66,5	10,6
Riego	20	50,29	8,0
Turismo	10	11,59	1,8
Agropecuario	7	0,67	0,1
Total	138	629,9	100

Fuente: Departamento de Aguas de MINAET, 2010

Cuadro 6. Concesiones de agua de nacimientos de MINAET en área de estudio

Uso	Cantidad	Caudal (L/s)	Porcentaje (%)
Acueducto Rural	17	87,3	8,6
Consumo humano	67	872,8	85,8
Comercio	1	0,5	0,0
Riego	28	44,6	4,4
Turismo	8	2,48	0,2
Agropecuario	40	8,98	0,9
Total	161	1016,73	100

Fuente: Departamento de Aguas de MINAET, 2010

Cuadro 7. Registros de agua de pozos de SENARA en área de estudio

Uso	Cantidad	Caudal (L/s)	Porcentaje (%)
Abastecimiento público	78	1447,1	73,9
Agroindustria	5	13,7	0,7
Comercio	1	5,0	0,3
Consumo humano	178	234,6	12,0
Industria	19	138,8	7,1
Riego	13	40,1	2,0
Turismo	2	5,0	0,3
Otros	24	73,9	3,8
Total	320	1958,0	100,0

Fuente: Servicio de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), 2010

Como se mencionó anteriormente, además de las concesiones otorgadas por el MINAET, se cuenta también con información de pozos de SENARA, que guarda un registro de los pozos en los que haya realizado alguna prueba o estudio.

En el mapa 6 se la ubicación de los puntos de estos pozos y nacientes. Contiene además el uso del suelo de la zona de estudio para el año 2005 y una actualización para el 2008 en un área que abarca gran parte de la superficie de la zona de estudio y cuyo límite se representa en el mapa con el borde de color café.

7.5. Nitrato y nitrito²⁶

El nitrato y el nitrito se consideran en forma conjunta debido a que generalmente, los efectos del nitrato sobre la salud son consecuencia de su rápida conversión en nitrito una vez en el organismo.

Fuentes

Los nitratos se hallan ampliamente difundidos en grandes cantidades en el suelo, en la mayoría de las aguas y las plantas, incluyendo las verduras. Uno de los usos principales del nitrato es como fertilizante y la mayor parte de otros fertilizantes que contienen nitrógeno, se convierten en nitrato al entrar en contacto con el suelo. Los nitratos y algunos nitritos también se producen en el suelo como resultado de la descomposición bacteriana del material orgánico, tanto vegetal como animal.

Debido a que se encuentran muy difundidos en el ambiente, los nitratos y nitritos se encuentran en la mayoría de alimentos, en la atmósfera y en muchas fuentes de agua.

Presencia en el agua

El uso de fertilizantes, la materia descompuesta de origen vegetal y animal, las descargas industriales, las filtraciones de botaderos y el arrastre del agua pluvial contribuyen a la presencia de estos iones en las fuentes de agua. Los cambios en el uso del suelo pueden dar lugar a mayores niveles de nitrato en las fuentes de agua, por ejemplo, de bosques a cultivos por el uso de fertilizantes, o a uso urbano en los casos en que las aguas residuales no son tratadas adecuadamente y de alguna forma alcancen las aguas subterráneas. Según sea la situación, estas fuentes pueden contaminar quebradas, ríos, lagos y el agua subterránea, en especial los pozos.

Los niveles más altos de nitrato se encuentran en las aguas subterráneas en la mayoría de los casos, debido a que los nitratos presentes en las aguas superficiales tienden a disminuir por acción de las plantas acuáticas.

La presencia de nitratos en el agua tiene efectos negativos sobre la salud, que se explican a continuación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la presencia de nitratos en el agua es un indicador de la existencia de otros contaminantes como bacterias y pesticidas.

²⁶ Esta sección con base en Organización Panamericana de la Salud (1987) y Mora et al. ()

Efectos sobre la salud

Metahemoglobinemia

Normalmente, de 1 a 2% de la hemoglobina del organismo se halla en forma de metahemoglobina, pero cuando la proporción excede el 10%, es posible detectar los efectos clínicos que se conocen como metahemoglobinemia; 30 a 40% da lugar a casos de una falta casi total de oxígeno en los tejidos, conocida como anoxia, que puede ocasionar lesiones cerebrales y muerte.

En ciertos países, los abastecimientos de agua que contienen elevados niveles de nitrato han sido responsables de casos de metahemoglobinemia y de muerte en infantes, por lo que la OMS ha recomendado que los abastecimientos de agua que contienen más de 100 mg de NO_3 por litro, no deben ser utilizados para la preparación de alimentos para infantes.

La cocción prolongada del agua puede exacerbar el problema al incrementar los niveles de nitrato debido a la evaporación. La gran mayoría de casos de metahemoglobinemia infantil se han vinculado con el uso, como fuente de agua, de pozos privados que se hallaban contaminados microbiológicamente.

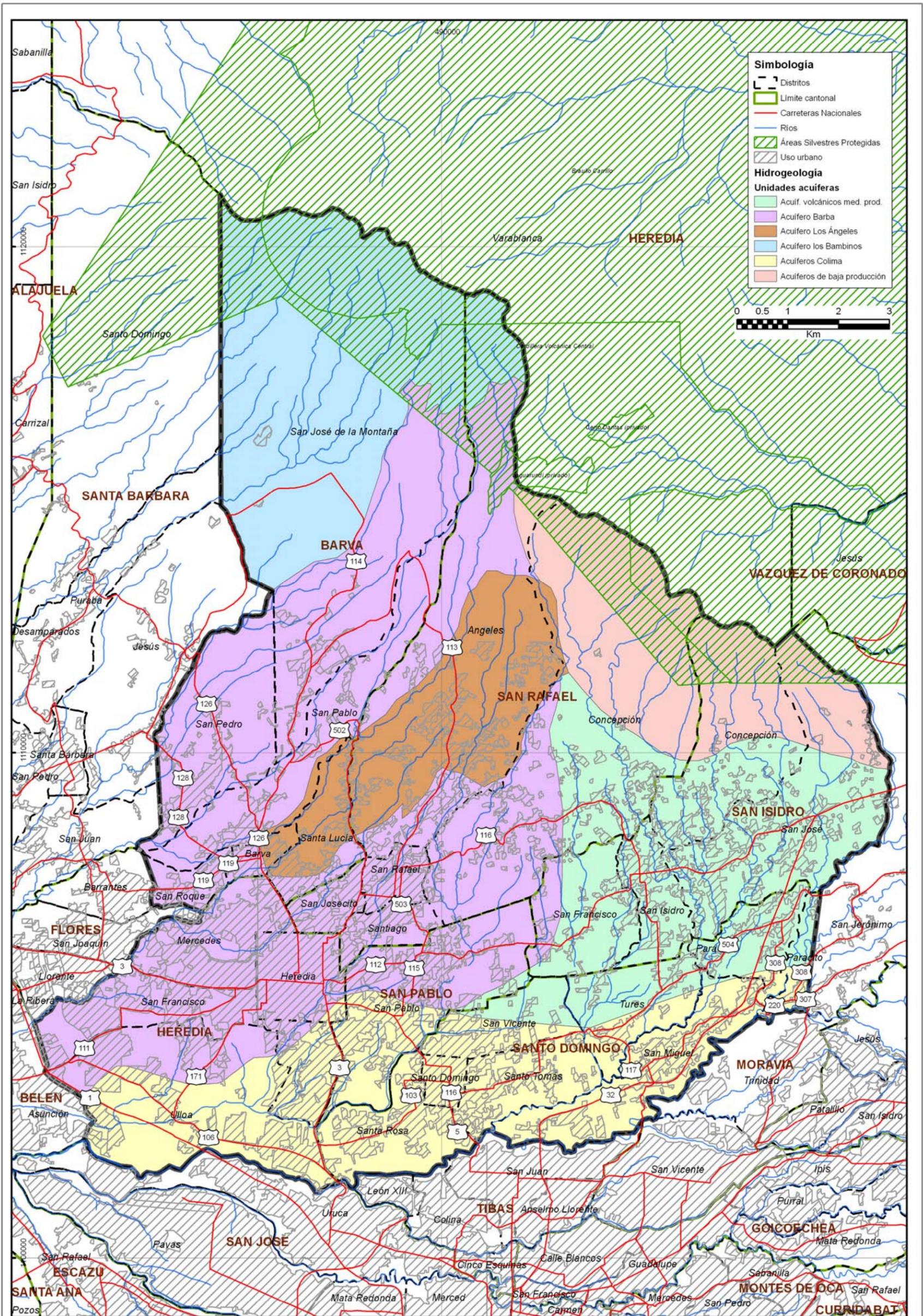
Carcinogenicidad de las nitrosaminas

Debido a que los nitratos que se ingieren pueden convertirse fácilmente en nitritos, ya sea en la boca o en otra parte del organismo donde la acidez sea relativamente baja, es posible que se produzcan nitrosaminas, algunas de las cuales podrían ser carcinógenas. Sin embargo, los estudios que relacionan los contenidos de nitrato en abastecimientos de agua con casos de cáncer, implican niveles de nitrato entre 100 y 200 mg/L o mayores, que son bastante altos.

Entre estos estudios se encuentra una revisión de la situación del cáncer gástrico en China, donde se determinó que en la zona que tenía la mayor mortalidad de esta enfermedad, presentaba niveles de nitrato y nitrito en el agua potable mayores que las zonas de bajo riesgo.

En un estudio llevado a cabo por el Laboratorio Nacional de Aguas (Mora et al., 2006) se concluye que no se ha encontrado ninguna asociación entre el contenido de nitratos en el agua para consumo humano y el padecimiento de cáncer gástrico en Costa Rica; sin embargo, se limita a este tipo de cáncer específicamente.

Mapa 2. Hidrogeología en el norte de Heredia



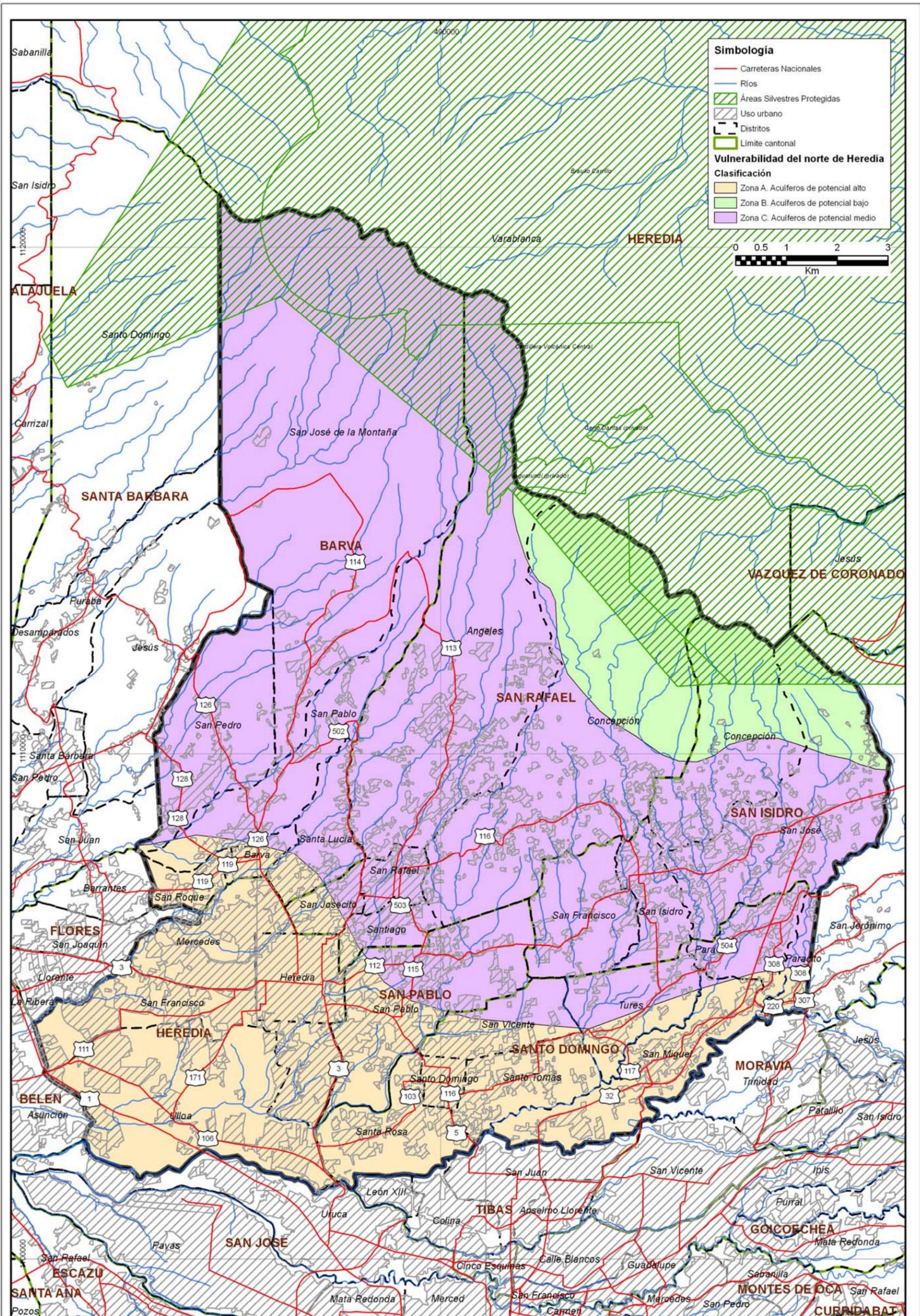
Hidrogeología en el norte de Heredia

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia

Coordenadas CRTM05
Fuente: Pujol et al., 2004
IGN cartografía 1:50000
Bases de datos ProDUS



Mapa 3. Vulnerabilidad en el norte de Heredia



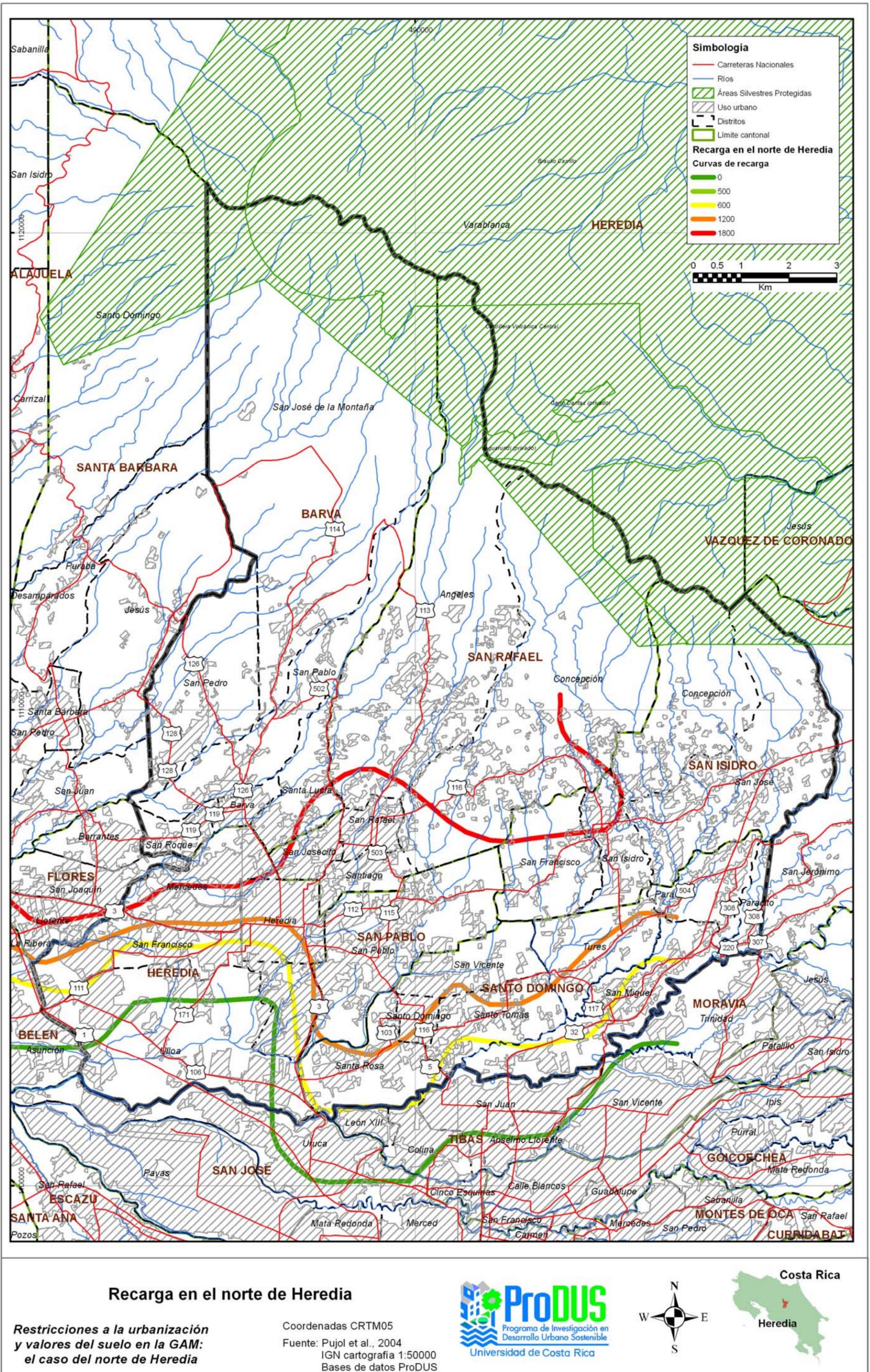
Vulnerabilidad en el norte de Heredia

Restricciones a la urbanización y valores del suelo en la GAM: el caso del norte de Heredia

Coordenadas CRTM05
Fuente: Pujol et al., 2004
IGN cartografía 1:50000
Bases de datos ProDUS



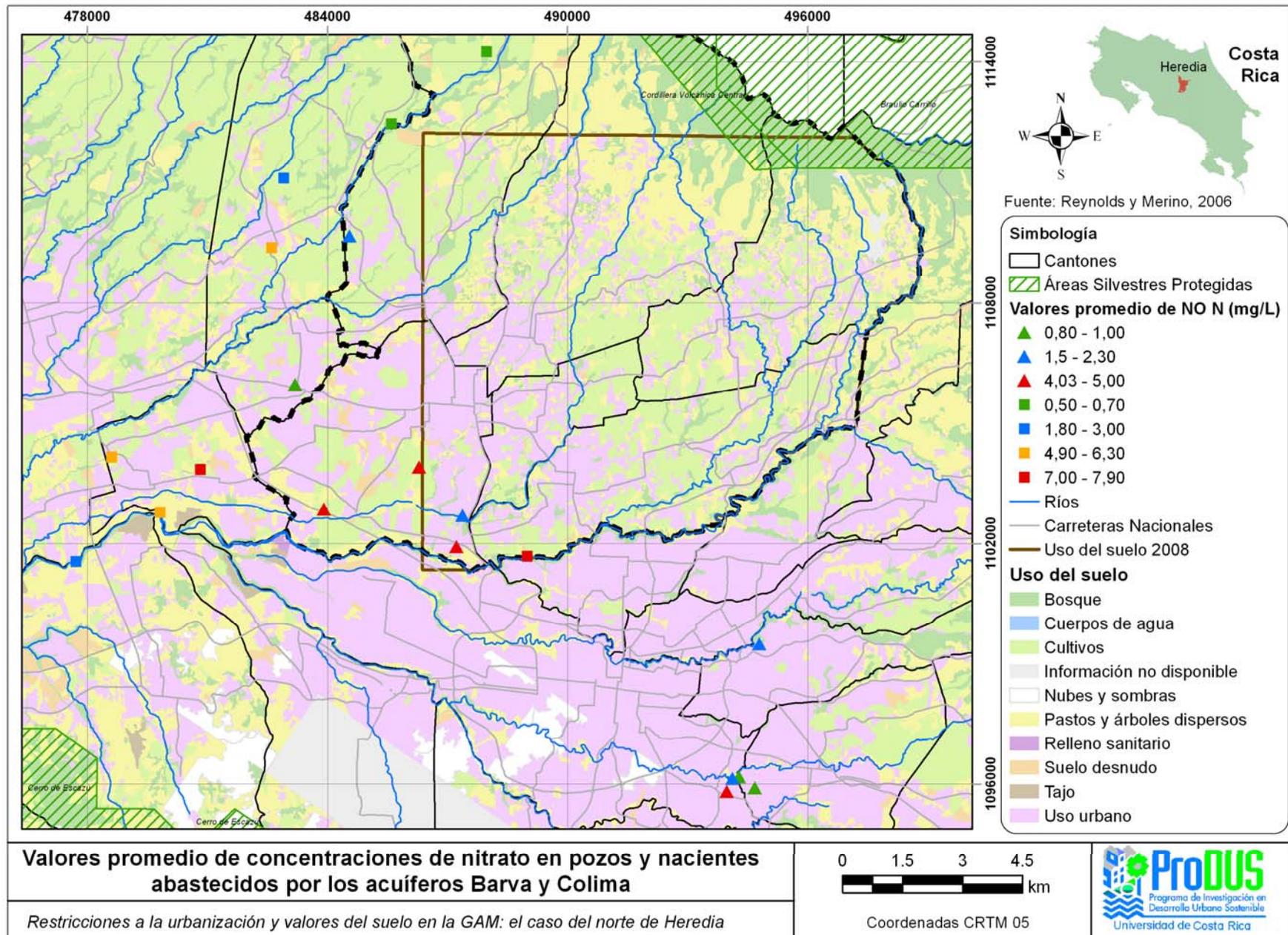
Mapa 4. Recarga en el norte de Heredia





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

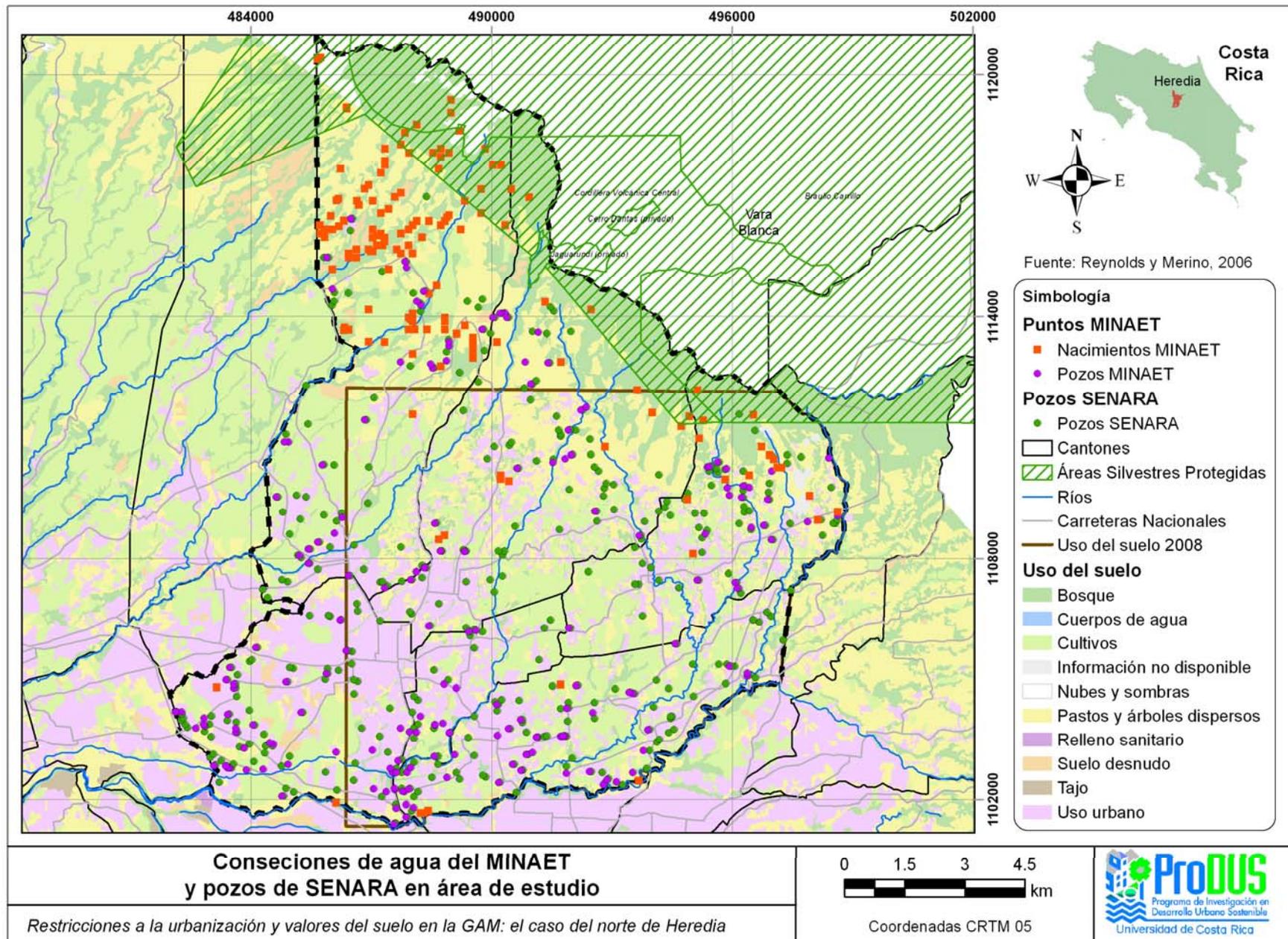
Mapa 5. Valores promedio de concentraciones de nitrato en pozos y nacientes abastecidos por los acuíferos Barva y Colima





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Mapa 6. Conseciones de agua del MINAET y pozos de SENARA en área de estudio





Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Sección 8. Variaciones del valor del suelo en el límite de crecimiento urbano del norte de Heredia: diferenciales espaciales y temporales, 1987-2008

Esta sección explora las variaciones espaciales y temporales en los valores del suelo de la zona de estudio. Específicamente, se busca determinar cómo influye el límite de crecimiento sobre los valores del suelo en el norte de Heredia. A partir del análisis, se concluye que los valores del suelo más allá del límite de crecimiento son menores que dentro de él (como predice la teoría) pero este efecto tiene una magnitud mucho menor que el crecimiento de los valores en el tiempo. Se demuestra, además, que el gradiente de precios varía en el tiempo más allá del límite de crecimiento: conforme la ciudad se acerca a este límite regulatorio y comienzan a operar las restricciones, el mayor y mejor uso pasa de agricultura a urbanización dispersa – un uso menos intenso que el que existiría de no ser por el límite de crecimiento.

La sección se divide en cinco partes. Una primera parte sintetiza los impactos esperados del límite de crecimiento sobre los valores del suelo. Seguidamente, se discute en la metodología el uso de modelos hedónicos y técnicas específicas para determinar los efectos del límite de crecimiento y del tiempo sobre los valores del suelo. Luego, se muestran los resultados:

- Un modelo de precios hedónicos base, estimado con la base de datos completa, que muestra la tendencia del valor promedio del suelo con respecto a 2008 (último año con datos registrados en la serie)
- Una reformulación de este modelo de precios hedónicos base, que incluye: (a) una restricción de los datos a dos periodos, 2007 y circa 1998 (es decir, 1997-1999) y (b) una estructura similar al modelo de diferencia-en-diferencias utilizando como grupo de control todos los valores más allá del límite de crecimiento urbano
- Modelos hedónicos a partir del modelo base para los datos de solo el año 2007 y solo el periodo 1997-1999
- Un análisis de *propensity score matching* sobre las tres bases de datos restringidas (1997-99, 2007 y el conjunto de 1997-99 y 2007)

Una última sección sintetiza las principales conclusiones.

8.1. Marco conceptual

La evaluación del impacto de límites de crecimiento urbano sobre los valores del suelo tiene una muy larga trayectoria. Existe muchísima evidencia de que el establecimiento de un límite de crecimiento urbano causa un diferencial de precios entre el espacio dentro de ese límite y el espacio fuera de él: desde los estudios de Knaap (1985) sobre el límite de crecimiento de la ciudad de Portland hasta evaluaciones mucho más recientes (e.g. Grout et al., 2011)²⁷.

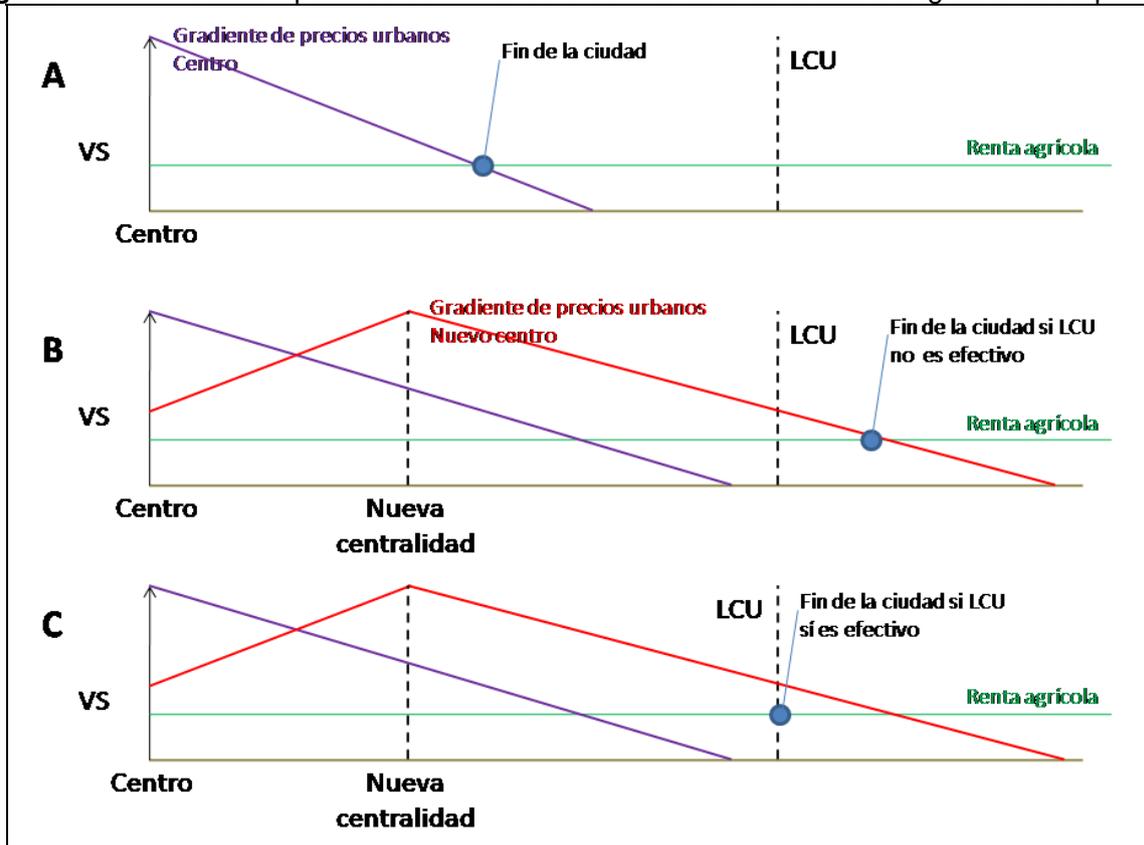
Un límite de crecimiento modifica el gradiente de precios si prohíbe al mayor y mejor uso localizarse en cierto espacio. Así, la renta urbana pasa a ser 0 y se le asigna a ese espacio la renta máxima de la producción agrícola (en las figuras 1 y 2, simplificada como una línea horizontal, aunque también es sujeto de costos de transporte a mercados, etc.) Brueckner (1987), en su análisis teórico de diversas medidas de regulación, lleva el argumento un paso más allá: afirma que la escasez de suelo provocada por la restricción implica un desplazamiento del gradiente de toda la ciudad hacia arriba, i.e. aumenta el valor del suelo en toda la región (cf.

²⁷ Cuando los límites de crecimiento en efecto restringen el desarrollo urbano. Cho et al. (2008), por ejemplo, discuten el caso de una regulación débil que no tiene impacto sobre los valores del suelo (en Knoxville, Tennessee, Estados Unidos).

Brueckner, 1987). Esta argumentación es un poco exagerada. En equilibrio perfecto, en efecto, limitar el tamaño de la ciudad implica una restricción a la cantidad de suelo disponible cuya reacción es un aumento en los valores del suelo (que, en el caso de San José, probablemente se resuelve con mayores densidades en las localizaciones centrales antes que aumentos en el precio de cada inmueble). Pero las enormes distorsiones del mercado provocan la permanencia de terrenos baldíos y densificables en el interior del límite de crecimiento, de modo que un impacto general sobre los niveles de precio no es necesariamente una consecuencia de la regulación.

Desde el punto de vista teórico, la renta del suelo viene dada por la disponibilidad a pagar del mayor y mejor uso (Smolka, 1983) de modo que las restricciones regulatorias – aún en equilibrio – solo modificarían un eventual gradiente de precios si cambian el mayor y mejor uso de una localización. Es posible una modificación al gradiente de precios, si se produce densificación adicional, pero no automática. En particular, el principal determinante del mayor y mejor uso no es la intensidad sino la posición con respecto a centralidades de una localización particular (posición que no se ve afectada per se por la restricción en el borde).

Figura 1. El efecto hipotético del límite de crecimiento urbano sobre el gradiente de precios



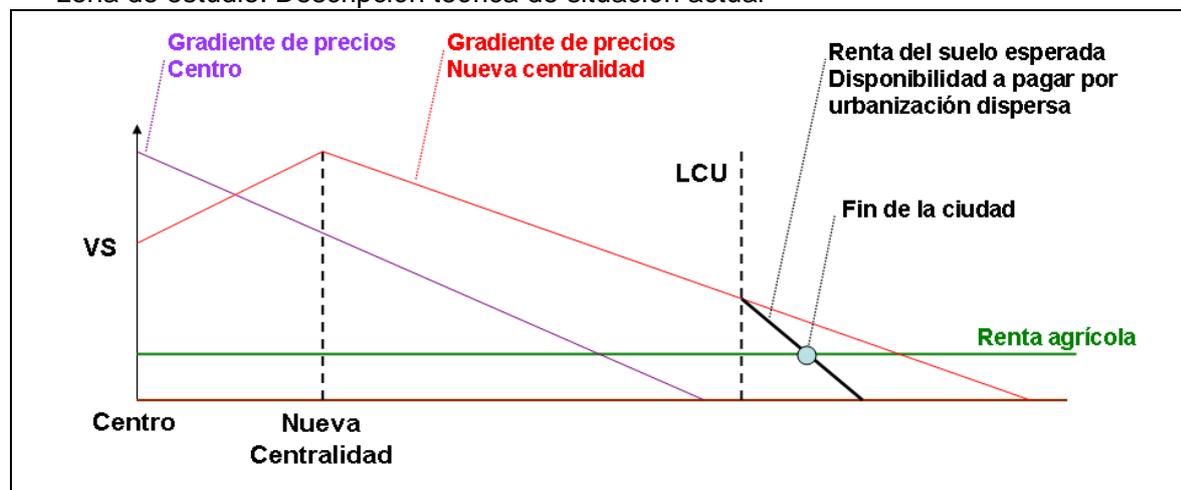
La figura 1 representa el establecimiento del límite de crecimiento urbano de la Gran Área Metropolitana (GAM) de forma conceptual. Al inicio (figura 1-A), el límite fue definido más allá de las necesidades de la ciudad. Por ello, la renta del suelo urbano – función de los costos de transporte al centro y cuya variación con respecto al centro está representada por la línea violeta – llega a ser igual a la renta agrícola en un punto dentro del límite de crecimiento urbano. Este punto (azul) marca el fin de la ciudad: los propietarios más allá de él obtienen una renta

mayor de cultivar la tierra que de urbanizarla. Conforme la ciudad crece (un efecto representado en la figura 1-B por el cambio de pendiente en los gradientes urbanos), emergen nuevas centralidades (gradiente urbano rojo).

Si el límite de crecimiento urbano no es efectivo, la ciudad terminará más allá de este. En caso de que sí lo fuera (figura 1-C), la ciudad termina en un punto donde la renta urbana es aún mayor que la renta agrícola. Esto, a su vez, genera dos incentivos: los propietarios de las tierras agrícolas más allá del límite de crecimiento pero que podrían obtener una renta urbana mayor a la renta agrícola tienen un incentivo para especular y para presionar políticamente por la eliminación del límite de crecimiento urbano (o cuando menos, por su expansión). A su vez, algunos usos urbanos tienen un fuerte incentivo para localizarse ilegalmente más allá del límite de crecimiento.

En el caso de la GAM, dadas las posibilidades de construir una vivienda en parcelas agrícolas (propiedades con un tamaño mínimo de 5000 m²) teóricamente para el propietario de la finca y sus trabajadores, se produce una urbanización en muy baja densidad que es compatible con algunos de los objetivos ambientales del límite de crecimiento²⁸. En este caso, la renta (el valor) del suelo es menor o igual que la línea roja del gradiente urbano (pues el mayor y mejor uso para esa localización probablemente es más denso que la urbanización tolerada, o a lo sumo, igual de denso) y mayor que la línea verde de la renta agrícola. La figura 2 resume esta situación, que es la esperada actualmente en el límite de crecimiento de la zona de estudio.

Figura 2. El efecto esperado del límite de crecimiento sobre el gradiente de precios en la zona de estudio. Descripción teórica de situación actual



No se presenta el último caso, que es la reacción potencial del gradiente urbano ante la restricción impuesta por el límite de crecimiento (cf. Brueckner, 1987). Como se argumentó, la realidad de un complejo sistema urbano excede la suposición de equilibrio y en particular, para la GAM, la combinación de un relieve complejo y numerosas distorsiones en el mercado inmobiliario resulta en amplios espacios dentro del límite de crecimiento. En consecuencia, no hay estrictamente escasez de suelo. Parte del área disponible para urbanizar dentro del límite de crecimiento tiene características peores de accesibilidad y otros atributos, cuando comparada con el espacio adyacente al límite de crecimiento en la zona de estudio; pero, en

²⁸ Pero no con otros, por ejemplo la preservación de suelos fértiles para producción agropecuaria.

general y dada la cantidad de espacio dentro del límite de crecimiento, la escasez de suelo urbanizable no debe existir en la región.

8.2. Estrategia metodológica

El objetivo de esta sección es determinar el impacto del límite de crecimiento sobre el valor del suelo. En particular, se ha supuesto que el límite de crecimiento urbano introduce un cambio en el gradiente de precios que resulta en menores valores más allá del límite de crecimiento, tanto con respecto a las propiedades ubicadas dentro del límite de crecimiento como con respecto al gradiente que teóricamente existiría sin la restricción a la urbanización que es el límite de crecimiento urbano. Para ello, se han planteado una serie de variantes sobre un modelo de precios hedónicos base que exploran diversos aspectos del valor del suelo, culminando con la estimación del cambio en el gradiente de precios. Seguidamente, se verifican los resultados con una técnica no paramétrica que relaja los supuestos de exogeneidad del límite de crecimiento inherentes al análisis.

Modelación del valor del suelo y el impacto del límite de crecimiento

La modelación del valor del suelo tiene por objetivo aislar el impacto del límite de crecimiento de otras tendencias y patrones. En primer término, se definió un modelo de precios hedónicos base según el cual el valor del suelo depende del área de la propiedad, la relación entre el valor de la construcción y el valor del suelo, el tiempo de viaje (en condiciones de flujo libre) a San José y a Heredia, la pendiente y la posición con respecto al límite de crecimiento urbano.

Este modelo base se estima con (a) determinantes adicionales y (b) distintas submuestras de la base de datos. El primer modelo, dado por la ecuación [1], busca evaluar la tendencia promedio de los valores del suelo en la zona de estudio. Se añade una variable categórica para cada año de la serie. Si el registro corresponde a (la hipoteca fue otorgada en) ese año, esta variable es igual a 1; caso contrario, es igual a 0. Estos coeficientes son necesarios por razones econométricas (neutralizan los cambios en el tiempo no reflejados en otros determinantes)²⁹ y además tienen una interpretación estructural: si su signo es negativo, significa que el valor promedio de ese año es menor que el de 2008; y su magnitud (en términos absolutos) mide cuánto menor en promedio son esos valores con respecto a 2008.

$$VS_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot AREA_{it} + \beta_2 \cdot BtoLR_{it} + \beta_3 \cdot SJTT_i + \beta_4 \cdot HETT_i + \beta_5 \cdot SLP_i + \delta_1 \cdot LCU_{it} + \sum \delta_j A_j + \mu \quad [1]$$

donde:

- VS es igual al valor del suelo, en dólares de 2008, dividido por el área de la parcela
- AREA es el área de la parcela, en metros cuadrados
- BtoLR es la razón entre el valor de la construcción y el valor del suelo
- SJTT es el tiempo de viaje más corto a San José bajo condiciones de flujo libre, en minutos
- HETT es el tiempo de viaje a Heredia bajo condiciones de flujo libre, en minutos
- SLP es el porcentaje de pendiente en una celda de 20x20 metros sobre la cual se ubica la propiedad cuyo valor del suelo se modela
- LCU es una variable categórica igual a 1 para las propiedades más allá del límite de crecimiento urbano

²⁹ El modelo de precios hedónicos estimado por Rodríguez y Mojica (2009) los utiliza por esta razón.

- A_j es una variable categórica igual a 1 si la hipoteca se otorgó en el año j ; j varía entre 2007 y 1991, y 1988 y 1987 (se deja por fuera el año 2008); estos coeficientes funcionan como una estimación de los efectos fijos de cada año: económicamente, neutralizan el impacto del tiempo sobre los otros parámetros; por otra parte, la interpretación de estos coeficientes permite determinar la tendencia del valor del suelo
- μ es el término de error, que debe ser aleatorio con media 0 y desviación estándar σ^2 para que sea apropiado utilizar mínimos cuadrados ordinarios. Dado el carácter espacial de la base de datos, es posible que exista correlación espacial en el término de error, en cuyo caso se supone que este tiene un proceso autoregresivo – la suposición más común (Anselin y Bera, 1998) – de la forma: $\mu = \lambda \cdot W \cdot \nu + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$ donde W es una matriz de pesos que refleja las relaciones espaciales entre cada punto (dato) y sus vecinos, ν es un vector que incluye la parte sistemáticamente correlacionada (a través del proceso espacial) del error, λ es el parámetro que representa la autoregresividad espacial del error, dado el proceso de dependencia espacial resumido en W , y ε es un el error homoscedástico, como se especificó (refiérase a la descripción de econometría espacial en las herramientas metodológicas, en esta misma sección, para una más detallada explicación)

Todas las variables, excepto LCU y A_i , son logaritmos naturales de los valores originales.

Un segundo modelo, que se sintetiza en la ecuación [2], utiliza la técnica de diferencia-en-diferencias. Para implementarlo, se construyó una base de datos que incluye registros de dos periodos: el año 2007 (el último año con información completa, pues los registros de 2008 llegan aproximadamente a julio de ese año) y el periodo 1997-1999 (se agregan tres años despreciando los incrementos en el valor del suelo entre ellos, dado el corto periodo de tiempo); esta agregación se debe a que hay muchos más registros-hipotecas en 2007 que en cualquier otro año (e incluso, hay cinco veces más registros en 2007 que en el conjunto de años 1997-1999).

$$VS_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot AREA_{it} + \beta_2 \cdot BtoLR_{it} + \beta_3 \cdot SJTT_i + \beta_4 \cdot HETT_i + \beta_5 \cdot SLP_i + \delta_1 \cdot LCU_{it} + \delta_2 \cdot T_t + \delta_3 \cdot LCU_{it} \cdot T_t + \mu \quad [2]$$

donde:

- T es una variable categórica igual a 1 para el año 2007 y 0 para el periodo 1997-99
- $LCU \times T$ es el producto de LCU y T
- Otras variables y el término de error se definen igual a la ecuación [1].

Todas las variables, excepto LCU, T y $LCU \times T$, corresponden a logaritmos naturales.

El modelo 2 retoma la hipótesis central de esta sección sobre el impacto del límite de crecimiento urbano sobre los valores del suelo. Específicamente, busca simultáneamente sintetizar los siguientes efectos: (a) que los valores del suelo aumentan con el paso del tiempo, (b) que los valores del suelo más allá del límite de crecimiento son menores que los valores del suelo dentro de él y (c) que los valores del suelo más allá del límite de crecimiento aumentan más rápidamente que los valores del suelo dentro de él (porque el mayor y mejor uso, con el crecimiento de la ciudad, pasa de agropecuario a residencial en baja densidad a lo cual deben sumarse los factores que justifican el incremento general de precios del suelo).

El efecto (a) – apreciación de los valores del suelo – es descrito por el signo, magnitud y significancia del coeficiente δ_2 (que debería ser positivo). El efecto (b) – diferencial de precios entre áreas dentro y fuera del límite de crecimiento urbano – es medido en el modelo 2 por el signo, magnitud y significancia del coeficiente δ_1 (que debería ser negativo). Finalmente, el efecto (c) está representado por un coeficiente δ_3 positivo y significativo. En este caso, el mejor modelo teórico para representar el gradiente de precios es la figura 2. Si, en cambio, el coeficiente δ_3 fuera negativo, entonces el comportamiento del gradiente vendría dado por la figura 1-C. Un coeficiente δ_3 no significativo puede ser interpretado por una de dos formas: el gradiente de precios no se ve afectado por el límite de crecimiento urbano (figura 1-B) ó existe un sesgo por variables omitidas. Refiérase a la discusión sobre diferencia-en-diferencias de los instrumentos metodológicos en esta misma sección.

Se construyó la base de datos restringida descrita, que interpreta la serie de datos con una estructura de experimento natural, con el objeto de crear un modelo que pruebe estos tres efectos. Las condiciones iniciales de este experimento natural (los datos correspondientes a 1997-1999) buscan reflejar el gradiente de precios del suelo representado por la figura 1-A: una ciudad en la cual el uso urbano no ha llegado aún a ocupar todo el espacio hasta el límite regulatorio (es decir, en que este límite de crecimiento urbano no es una restricción). Cuanto más antiguos los datos, mejor se refleja esta realidad en el modelo 2. Pero debe subrayarse la falta de registros en los primeros años de la serie como una limitante al diseño del experimento: solo hasta 1998, se registran más de 100 hipotecas en un año; así, usar datos de años anteriores desbalancea los resultados al punto de poder introducir sesgos potenciales en ellos.

El año 2007, en cambio, puede ser descrito conceptualmente como un gradiente de precios similar a las figuras 1-C ó 2: con una reducción sustancial del valor del suelo con respecto al gradiente promedio de la región. El experimento parece apropiado, dada la enorme expansión urbana de la región en sus bordes durante la última década: aunque la situación de 1997-1999 no sea estrictamente la reflejada por la figura 1-A (i.e. que el límite de crecimiento ejerza alguna restricción), es claro que para 2007 este efecto debería ser mucho más profundo.

Finalmente, con el objetivo de contribuir a verificar el modelo de precios hedónicos base, se estimó este por separado con bases de datos correspondientes a los años 2007 y 1997-1999, según la ecuación [3].

$$VS_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot AREA_{it} + \beta_2 \cdot BtoLR_{it} + \beta_3 \cdot SJTT_i + \beta_4 \cdot HETT_i + \beta_5 \cdot SLP_i + \delta_1 \cdot LCU_{it} + \mu \quad [3]$$

donde todas las variables y el término de error se definen como en la ecuación [1].

Fuente de datos

El análisis que se presenta utiliza la base de datos de hipotecas del Banco Nacional de Costa Rica. De la base de datos nacional, se extrajeron y geolocalizaron las propiedades de seis cantones de Heredia: Heredia, Barva, Santo Domingo, San Rafael, San Isidro, Belén y San Pablo. El proceso de geolocalización involucró asignar, para cada propiedad y a partir del número del plano catastral, las coordenadas del inmueble en el Registro de Bienes Inmuebles.

La base de datos incluye muchas variables que describen cuantitativa y cualitativamente cada inmueble. Desgraciadamente, la mayoría de variables se encuentran muy poco sistematizadas por lo cual su utilización en un marco cuantitativo es poco eficiente. Aún así, la base de datos constituye una muy importante y valiosa fuente de información³⁰. De ella, se han extraído las siguientes características:

- Valor del suelo, estimado como: $(ValorTotal - ValorConstruccion) / AreaParcela$
- Razón entre valor de la construcción y valor del suelo, que es igual a: $ValorConstruccion / (ValorTotal - ValorConstruccion)$
- Área de la parcela en metros cuadrados
- Coordenadas de la parcela en el sistema Lambert Norte (producto de combinar el número de plano, que es parte de la base de datos, con información del Registro de Bienes Inmuebles, como se describió)
- Año en que se otorgó la hipoteca
- Los valores fueron transformados de colones a dólares nominales con el tipo de cambio del día en que se realizó la hipoteca; posteriormente, fueron deflatados a dólares reales de 2008 usando el CPI mensual de la Oficina de Estadísticas de Trabajo del gobierno de Estados Unidos.

La figura 3 muestra la localización de los datos, separando 1997-1999, 2007 y todos los otros años, y el límite de crecimiento urbano de la región.

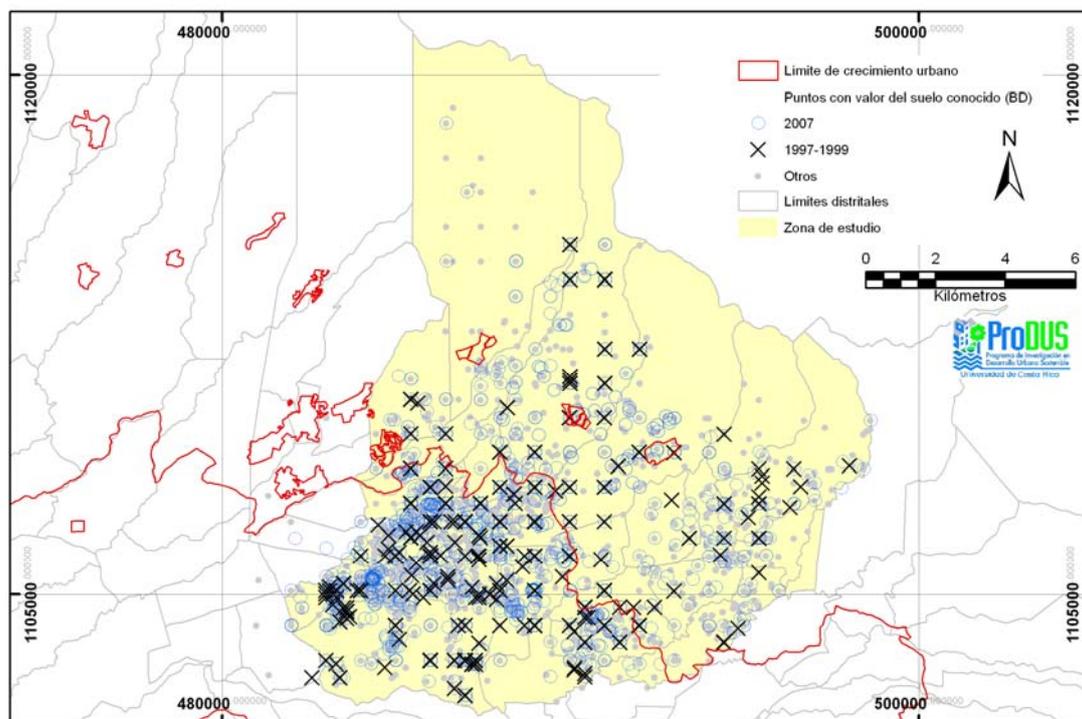
A cada registro se le asignaron características de su entorno: distancia con respecto a centralidades (San José y Heredia), pendiente y posición con respecto al límite de crecimiento urbano:

- El tiempo de viaje con respecto a Heredia se estimó bajo condiciones de flujo libre (velocidad de 60 KPH para todas las vías excepto las carreteras primarias, para las cuales se supuso 80 KPH). Se generó una superficie de tiempo de viaje siguiendo el procedimiento descrito en la sección IV y calculando las distancias al centro de Heredia.
- El tiempo de viaje a San José se estimó de la misma manera que para Heredia. Se estimaron por separado tiempos de viaje a la intersección entre el río Virilla, por una parte, y las rutas nacionales 1, 3, 5 y 32, por otra. A cada celda de la superficie se le asignó el menor valor de tiempo de viaje, entre estos cuatro.
- La pendiente se expresa en porcentaje en una celda de 20x20 m. Se asigna la dirección de la mayor pendiente posible³¹.
- La posición del límite de crecimiento urbano se formaliza como una variable dicotómica igual a 1 para las propiedades más allá del límite de crecimiento (i.e. que tienen restricciones a la urbanización) y 0 si están dentro del límite de crecimiento.

³⁰ Descripciones completas de la base de datos, posibles aplicaciones y limitaciones pueden encontrarse en Alfaro y Navarro (2009), Monge y Rojas (2009), y Núñez y Salas (2010).

³¹ Las pendientes fueron calculadas sobre una matriz de celdas cuadradas con una longitud l (cobertura tipo *raster*) en ArcGIS 10.0™. A una celda se le asignó la pendiente: $pendiente = \max(\Delta elev_i / L_i)$, donde $\Delta elev_i$ es la diferencia de elevación entre la celda y cada una de sus ocho celdas vecinas (donde el subíndice i denota una celda vecina), y L es la longitud correspondiente entre el centro de la celda y sus cada una de las celdas vecinas: l si están directamente al norte, sur, este u oeste, y $2^{1/2} \cdot l$ si están al noreste, noroeste, sureste o suroeste.

Figura 3. Base de datos geolocalizada para modelación del valor del suelo



Instrumentos econométricos y estadísticos

Modelos de precios hedónicos. Un modelo de precios hedónicos describe el precio de bienes que tienen varios atributos. Cuando un consumidor adquiere este bien, en la práctica, está adquiriendo una canasta que incluye todos sus atributos (es decir, el consumidor obtiene utilidad de los atributos del bien antes que del bien mismo). Así, es posible descomponer el precio del bien en función de sus atributos.

La génesis de los modelos de precios hedónicos ha sido generalmente atribuida a los estudios de Court en 1939 sobre automóviles, aunque existen algunos antecedentes (precisamente de análisis de mercados inmobiliarios rurales) de la década de 1920s (cf. Colwell y Dilmore, 1999, que atribuyen los primeros modelos de precios hedónicos a estos pioneros, aunque sí es claro que el término *hedónico* fue primero empleado por Court). Los modelos de precios hedónicos han sido extensamente utilizados en la investigación de mercados inmobiliarios, reconociendo el carácter compuesto de la propiedad inmueble³². Contribuciones fundamentales incluyen la relación entre los modelos de precios hedónicos (que descomponen el impacto de diversos atributos sobre el precio) con las funciones de oferta y demanda, y la recuperación de parámetros estructurales que las componen (Rosen, 1974); para una discusión más amplia, refiérase a Bartik (1987).

³² Sin embargo, la popularización de estos modelos – e incluso su génesis, por lo menos en su versión más aceptada – sí se origina en el análisis del cambio tecnológico.

El bien puede ser descrito como un vector de sus atributos z_i , $v(z) = f(z_1, z_2, \dots, z_i \dots z_n)$. Luego, el precio de ese bien es función de esos mismos atributos. Un modelo simple de precios hedónicos, que se utilizó en este trabajo, consiste en suponer una relación lineal entre los atributos y su precio:

$$p(z) = \beta_0 + \sum \beta_i z_i \quad [4]$$

En general, modelos de regresión que describen el valor del suelo en función de diversos atributos de cada propiedad individual o de su entorno son modelos de precios hedónicos (incluso si no se designan como tales, algo relativamente frecuente dado lo extendido del uso de los modelos de precios hedónicos). En particular, los modelos de precios hedónicos son muy populares para investigar los efectos de la accesibilidad sobre el valor del suelo (e.g. Maciel y Biderman, 2010; Rodríguez y Mojica, 2009), describir dinámicas agregadas de los modelos de localización residencial como el gradiente de precios (Biderman, 2001) e incluso evaluar el efecto de políticas públicas (véase el clásico estudio de Knaap, 1985, sobre el impacto del límite de crecimiento urbano de Portland sobre los valores del suelo en esa área metropolitana; además, Chamblee et al., 2009, explorando restricciones al desarrollo en cuencas hidrográficas y Lynch et al., 2007, explorando el efecto de programas de preservación de suelos agrícolas).

La técnica diferencia-en-diferencias. La técnica de diferencia-en-diferencias es una formalización que permite aislar el efecto de un cambio en un grupo "tratado", comparado con un grupo de control – que no fue sujeto de ese cambio pero cuya evolución es similar en cualesquiera otros aspectos al grupo "tratado". La técnica fue primero propuesta por Ashenfelter y Card (1985). Consiste en la formulación de un modelo de regresión que incluya los siguientes términos:

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \delta_1 \cdot r_i + \delta_2 \cdot T + \delta_3 \cdot r_i \cdot T + \mu \quad [5]$$

donde r_i es una variable dicotómica igual a 1 si el dato pertenece al grupo de control y 0 si no, T es una variable dicotómica igual a 1 si el dato corresponde al segundo periodo y 0 si corresponde al primero, el efecto que se busca evaluar ocurrió entre $T = 0$ y $T = 1$, y $r_i \cdot T$ es la interacción de ambos. El impacto atribuible al efecto que se evalúa – el cambio asociado exclusivamente al grupo tratado y, por tanto, consecuencia del tratamiento – se mide mediante el coeficiente de regresión δ_3 .

La técnica de diferencia-en-diferencias procede por analogía con el enfoque de experimentos controlados (donde los efectos sobre un grupo tratado se comparan con los efectos de un grupo de control – no tratado). Depende críticamente de tres aspectos. Primero, los determinantes deben reflejar apropiadamente cualesquiera otros cambios en el tiempo, distintos del efecto que se busca evaluar, que hayan ocurrido y afecten a la variable dependiente. Segundo, el grupo de control debe ser esencialmente similar al grupo tratado excepto por el tratamiento mismo (excepto por el efecto de los determinantes, cuya presencia en la regresión, en principio, anula su impacto sobre la estructura de diferencia-en-diferencias). En caso contrario, la validez del modelo estimado depende de cuán eficientemente se controlen por estos efectos en los otros determinantes (y en particular, es sujeto a sesgos por variables omitidas). Tercero, el periodo debe corresponder a un experimento natural: ambos grupos (tratado y de control) deben de estar básicamente libres del efecto que se evalúa en $T=0$; y solo uno de ellos (el grupo tratado) debe haber sufrido el tratamiento que se evalúa en $T=1$.

El experimento natural divide a la serie de datos sobre la cual se estima el modelo en cuatro grupos:

		Dimensión: tratamiento	
		$r_i = 1$	$r_i = 0$
Dimensión: tiempo	$T_i = 1$	A	C
	$T_i = 0$	B	D

- El coeficiente δ_1 mide el efecto promedio de la agrupación de datos: incluye todos los datos del grupo "tratado", *antes* y después del tratamiento (los grupos de datos A y B de la figura). Es una variable para *controlar* el sesgo introducido por la diferencia entre el grupo de datos B y el resto de la serie de datos.
- El coeficiente δ_2 mide el efecto *total* del paso del tiempo: no solo del tratamiento en sí sino también de cualesquiera otras dinámicas (que no hubieran sido controladas por los otros determinantes, x_i , de la variable dependiente en el modelo).
- El coeficiente δ_3 es el resultado más importante del modelo: mide el efecto neto del tratamiento, i.e. cuán diferente es el grupo A (los registros tratados *después* de haber ocurrido el tratamiento) del conjunto de la serie de datos.

No existen muchas aplicaciones del modelo de diferencia-en-diferencias a la modelación de valores del suelo. Otras técnicas análogas a experimentos controlados son más populares (por ejemplo, el *propensity score matching*, véase seguidamente). Alfeldt y Maennig (2009) emplearon un modelo con diferencia-en-diferencias para evaluar el impacto sobre los valores del suelo de grandes proyectos de infraestructura deportiva (encontrando externalidades en general positivas, en algunos casos mitigadas por la congestión inducida por el proyecto). En el contexto latinoamericano, destaca el aporte de Biderman (2008) que evaluó el impacto de las regulaciones urbanas sobre la informalidad.

Propensity score matching (PSM). El análisis PSM es una técnica no paramétrica que permite comparar un grupo tratado con un grupo de control, seleccionando únicamente casos similares. Consiste en una extensión de las técnicas de experimentos, donde el tratamiento se aplica aleatoriamente a una serie de casos, a series de datos existentes donde el "tratamiento" no es aleatorio. Fue propuesta por Rosenbaum y Rubin en 1983, y ha sido ampliamente utilizado en diversos campos desde entonces.

El procedimiento para realizar un análisis PSM consiste en:

- Estimar una regresión de variable discreta (logit, probit) definiendo como variable dependiente el grupo tratado. Predecir la probabilidad de pertenecer al grupo de control de cada dato. Esta probabilidad se convierte en el *propensity score*.
- Utilizar algún algoritmo de emparejamiento que seleccione datos con características (probabilidad) similares. La clave es que en cada "pareja", haya un dato en el grupo de control por cada uno (o varios) datos similares del grupo tratado. La similitud se evalúa con base en el *propensity score*.

- Realizar una prueba de diferencia de dos medias entre los grupos de datos seleccionados. La diferencia de medias es conocida como el parámetro ATT (*average treatment on the treated*), y representa el efecto neto del tratamiento.

En los análisis realizados, se estimó un modelo logit usando como variable dependiente LCU (variable dicotómica igual a 1 para las propiedades más allá del límite de crecimiento urbano) y como variables independientes, todas las otras correspondientes al modelo respectivo. El argumento es el siguiente: si el límite de crecimiento responde a las mismas variables que el valor del suelo – una suposición razonable, dado que el valor del suelo es reflejo de las decisiones de localización de los agentes económicos en la ciudad y el límite de crecimiento urbano fue definido precisamente para modificar esas decisiones (véase al respecto la argumentación de Grout et al., 2011, en un contexto metodológico análogo) – entonces debe ser por lo menos parcialmente explicado por los mismos factores que determinan ese valor del suelo.

Una vez estimado el modelo que predice el *propensity score*, se aplicó el algoritmo propuesto por Cochran y Rubin (1973) para asociar *dos* registros tratados con cada *un* registro no tratado. Con base en este emparejamiento, se estimaron diferencias entre las medias (a) de todos los registros (que es un resultado sesgado y solo sirve como parámetro de comparación) y (b) de los registros emparejados (i.e. el ATT).

El uso de *propensity score matching* es muy popular en la evaluación de impactos de políticas públicas sobre los valores del suelo. Existen antecedentes que incluyen, en el contexto urbano, la evaluación de aumentos de accesibilidad por transporte público (Maciel y Biderman, 2010; Perdomo-Calvo et al., 2007) y regulaciones urbanas (e.g. McMillen y McDonald, 2002), y en el medio rural programas de preservación de tierras agrícolas (Lynch et al., 2007; Liu y Lynch, 2011) o el impacto de la irrigación sobre mercados inmobiliarios rurales (Brozovic e Islam, 2010), entre otros.

Econometría espacial. En el sentido amplio, puede definirse la dependencia espacial como la coincidencia entre similitud de valores y similitud de localizaciones en una serie de datos o, más formalmente, $Cov(y_i, y_j) = E(y_i \cdot y_j) - E(y_i) \cdot E(y_j) \neq 0$ (Anselin y Bera, 1998). El problema metodológico introducido por la dependencia espacial surge porque, al estimar regresiones, dos variables con patrones espaciales pueden estar fuertemente relacionadas no por la relación sustantiva entre ellas sino porque ambas comparten el mismo patrón de dependencia espacial.

Las relaciones espaciales entre diversos datos pueden resumirse en una matriz cuadrada de $n \cdot n$ (n siendo la cantidad de registros en la base de datos) de pesos W ,

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{i1} & \dots & w_{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_{1j} & \dots & w_{ij} & \dots & w_{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_{1n} & \dots & w_{in} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad [6]$$

donde cada entrada w_{ij} es la relación entre el registro i (con la posición en el espacio correspondiente a las coordenadas (x_i, y_i)) y el registro j para los n registros de la base de datos. Estas entradas se utilizan como factores de ponderación en el análisis de econometría espacial

y debe reflejar el supuesto fundamental: que datos más cercanos entre sí tienen una relación mayor (se parecen inherentemente más, por su misma cercanía) que datos lejanos. Para efectos del análisis en esta sección, se ha utilizado el inverso de la distancia: $w_{ij} = 1/d_{ij}$, siendo $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ es la distancia euclídeana entre los registros i y j , con coordenadas (x_i, y_i) y (x_j, y_j) respectivamente. Este es un factor de ponderación común y simple, que refleja la importancia de la cercanía entre registros.

Se define al rezago espacial como el promedio ponderado del valor de los registros vecinos (cercaños) a un dato i . Es análogo al concepto de rezago en series temporales, con la diferencia de que en estas solo existe una dimensión (tiempo) y por lo tanto solo un dato relacionado a través del rezago. En cambio, en el caso del rezago espacial, existen numerosos registros relacionados y cada uno tiene una relación diferente (dada por $w_{ij} = 1/d_{ij}$). Este promedio, para el dato i , es entonces: $\sum_j w_{ij} \cdot y_j$ para los k vecinos del dato i (donde si todos los registros de la base de datos tienen relación con i , $k = n$, y si no, $k < n$).

En econometría espacial, existen dos tipos comunes de autocorrelación: autocorrelación en los datos de la variable independiente, que obliga a introducir un rezago espacial sobre ella, y autocorrelación en los errores de un modelo lineal. En el caso más general,

$$y = \beta_0 + \rho \cdot W_1 \cdot y + \sum \beta \cdot x + \mu, \quad \mu = \lambda \cdot W_2 \cdot v + \varepsilon \quad [7]$$

donde W_1 y W_2 son matrices de pesos espaciales que no necesariamente son iguales; estas matrices reflejan los procesos de autocorrelación en la variable dependiente y en el término de error, respectivamente (véase Anselin y Bera, 1998, para un tratamiento más detallado del tema, así como variaciones sobre el modelo planteado). Los parámetros ρ y λ representan, respectivamente, la autocorrelación en la variable dependiente y en el término de error. Si no se incluyeran estos rezagos, en caso de existir un proceso de dependencia espacial, los coeficientes estimados estarían probablemente sesgados.

La estimación de modelos con dependencia espacial sigue, en general, el siguiente proceso: para un modelo lineal y una estructura supuesta de relaciones espaciales (resumida en la matriz de pesos espaciales W), se prueba si existe un sesgo por dependencia espacial: primero en la variable dependiente y después sobre los residuos del modelo lineal. Si existiera, se estima una regresión utilizando esta misma matriz de pesos para definir el error y/o rezago espacial – u otras formas más complejas de econometría espacial. En el análisis realizado, se ha supuesto $W_1 = W_2 = W$, según se ha discutido.

Sobre la base del modelo lineal, se estiman en este trabajo siete pruebas para explorar potenciales sesgos por dependencia espacial: la I de Moran sobre la variable dependiente, la I de Moran (modificada) sobre los residuos y las cinco pruebas de multiplicadores de Lagrange propuestas por Anselin et al. (1996) para detectar dependencia por autocorrelación espacial, por correlación espacial en los términos de error, por autocorrelación dada la existencia de correlación de errores y viceversa, y procesos SARMA³³.

³³ Los procesos SARMA se utilizan para formalizar modelos en que existe autocorrelación y medias móviles, en el rezago de la variable dependiente o en el término de error. Con respecto al modelo de la ecuación [7], se introducen rezagos adicionales de la forma: $y = \beta + \rho_1 \cdot W_1 \cdot y + \rho_2 \cdot W_2 \cdot y + \dots$

En todos los casos, las entradas de la matriz de pesos se definen como el inverso de la distancia euclídeana entre cada par de puntos si estos están a menos de 5000 m. entre sí; y 0 en caso contrario.

Cuando en un modelo particular se detectó la presencia de algún proceso de dependencia espacial, se estimó el modelo con rezago espacial. A este modelo, se le realizó la prueba de multiplicadores de Lagrange para detectar correlación espacial de los errores (pues es posible que, una vez controlada la autocorrelación de la variable dependiente, no exista sesgo en el término de error). Únicamente en los casos en que los errores del modelo con rezago espacial presentan correlación, se estimó el modelo con rezago y correlación de errores.

Estimaciones econométricas y estadísticas. La asignación de las características del entorno a la base de datos se realizó utilizando el programa ArcGIS 10.0™. Específicamente, se transformaron coberturas tipo *raster* en geodatos vectoriales puntuales. Estos fueron asociados a los puntos con valor del suelo conocido mediante la operación *Spatial Join* al punto más cercano.

Todas las estimaciones econométricas y estadísticas se realizaron utilizando el programa R (R Development Core Team, 2011). Los paquetes *car* (Fox y Weisberg, 2011) y *lmtest* (Zeileis y Hothorn, 2002) se emplearon para realizar pruebas de heteroscedasticidad y factor de inflación de la varianza (multicolinealidad). El paquete *spdep* (Bivand, 2011) se utilizó para probar y estimar regresiones con efectos espaciales. El paquete *nonrandom* (Stampf, 2011) se usó para hacer el análisis de PSM.

8.3. Resultados y discusión

Modelo de precios hedónicos base

En general, los modelos hedónicos estimados son variantes de un modelo básico, dado por la ecuación [8]. El cuadro 1 resume las magnitudes y significancia estadística de estos coeficientes para las cuatro variantes del modelo estimadas³⁴. Los resultados son sistemáticamente consistentes a través de distintas especificaciones y cambios en las muestras.

$$VS_{ii} = \beta_0 + \beta_1 \cdot AREA_{ii} + \beta_2 \cdot BtoLR_{ii} + \beta_3 \cdot SJTT_i + \beta_4 \cdot HETT_i + \beta_5 \cdot SLP_i \quad [8]$$

+ $\rho_p \cdot W_p \cdot y + \sum \beta \cdot x + \mu$, $\mu = \lambda_1 \cdot W_{p+1} \cdot v + \dots + \lambda_q \cdot W_{p+q} \cdot v + \varepsilon$. En general, tienen una aplicabilidad limitada. Véase Anselin y Bera (1998).

³⁴ En total, se estimaron trece variantes del modelo: mínimos cuadrados ordinarios para todos los modelos; correcciones de heteroscedasticidad para los modelos 1 a 3 (los modelos 4 y 5 no presentó heteroscedasticidad) y modelos con rezagos y/o errores espaciales para los modelos 2 y 3 (el modelo 4 no presentó efectos espaciales; no fue posible estimar el modelo 1 con efectos espaciales por limitaciones computacionales del *hardware* disponible). Las cuatro variantes reportadas se refieren a tres modelos no sesgados (2, 3 y 4) y el modelo 1, cuyo sesgo se considera mínimo en el contexto de todos los resultados obtenidos. Finalmente, se estimó un quinto modelo (con versiones lineal con mínimos cuadrados ordinarios y con efectos espaciales), que es complementario al modelo 2. Para los modelos 3 y 5, además, se calculó una versión previa con rezago espacial pero sin correlación en el término de error. Refiérase al anexo para estos resultados.

La pendiente en general no es un determinante significativo del valor del suelo, pese a lo que cabría esperar (que terrenos más planos fueran más valiosos por su potencial para construcciones). Es posible que esto se deba al carácter puntual de la estimación – si se considerara el entorno, preferiblemente en una forma proporcional al tamaño de cada parcela, podría obtenerse un valor significativo. Esta variante requiere de futuras exploraciones adicionales.

El área de la parcela presenta una elasticidad de alrededor de un -30% (mínimo de -27,6% en el modelo con datos de 1997-1999; máximo de -35,7% en el modelo de 1987-2008). Esta variable posiblemente sea un *proxy* del uso de la propiedad. Una de las principales limitaciones de la base de datos original es que las descripciones sobre el uso a que se dedica cada propiedad son muy limitadas (hay una variable dicotómica urbano/rural pero el 99% de los registros son urbanos, incluso para fincas de gran tamaño). Cuanto menor el tamaño de una parcela, mayor la probabilidad de que se esté utilizando para fines urbanos – pues se pueden lograr mayores densidades, y por tanto mayores rentas del suelo, en zonas con propiedades predominantemente pequeñas³⁵.

La razón entre el valor de la construcción y el valor del suelo debería tener una relación directa con la renta del suelo: es una medida de la inversión de capital en el suelo. Cuanto mayor la renta del suelo, debería ser mayor la inversión para lograr usos más intensos. Sin embargo, la elasticidad es negativa y muy pequeña (está ligeramente por encima del -1%, excepto para el modelo 4, para el cual no es significativa). Existen dos posibles explicaciones para ello: (a) Los datos no se refieren a transacciones en el mercado inmobiliario sino a hipotecas. El valor de la construcción se incluye mediante tasación. Es posible que, dados los altos niveles de especulación existentes en mercados inmobiliarios costarricenses y los múltiples bloqueos a un asignación óptima de usos del suelo, muchas propiedades tengan infraestructura y usos inapropiados a su localización – i.e. a su valor en el mercado. Es decir, puede corresponder a propiedades no ocupadas por el mayor y mejor uso (y en las cuales, por ello, hay menos inversión de la que debería existir). (b) El valor tasado de la construcción refleja su depreciación (desgaste teórico). Es posible que estructuras depreciadas puedan albergar usos intensos del suelo, que corresponden a rentas del suelo muy altas. Esto podría asociarse a imperfecciones en la estimación de la depreciación o a usos muy densos con pocas expectativas de infraestructura (e.g. asentamientos informales).

Los tiempos de viaje a centralidades importantes son un elemento central del modelo. Como se discutió ampliamente en la sección II, los modelos clásicos de localización residencial conciben la renta del suelo urbano como un intercambio entre costo de transporte (distancia al centro) y costo de la vivienda (renta del suelo). Los signos y significancia de los coeficientes de tiempo de viaje a San José y Heredia confirman esta relación: son todos negativos y significativos al 99% de nivel de confianza. La elasticidad al tiempo de viaje a San José está alrededor del 15% (negativo). Para Heredia, el valor es sistemáticamente menor a San José: similar en 1997-1998 (-0,14 con respecto a San José, -0,12 con respecto a Heredia) y más importante en 2007 en San José (-0,31 vs. -0,22 para Heredia). La elasticidad parece haber aumentado en el tiempo (aunque no se probó la interacción de estos factores con variables dicotómicas que representaran periodos), lo cual tiene sentido en el marco de la teoría: los tiempos de viaje representan condiciones de flujo libre (sin congestión). Conforme aumentan los flujos viales en la zona de estudio, el tiempo de viaje real es mucho menor que el valor en flujo libre, lo cual

³⁵ Dado el carácter periférico de la zona de estudio, es muy inusual que existan construcciones de más de tres pisos. Refiérase a Pérez (2010) sobre patrones de desarrollo de edificaciones en altura.

implica viajes más caros. En consecuencia, el impacto de este factor sobre la renta del suelo es mayor³⁶.

Cuadro 1. Coeficientes de regresión de variables seleccionadas para modelos finales

Variable	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Coef.	Estad. t (Prob.)	Coef.	Estad. z (Prob.)	Coef.	Estad. z (Prob.)	Coef.	Estad. t (Prob.)
Intercepto	8.6645	60.134 (<0.001)	5.8910	13.347 (<0.001)	12.1950	18.640 (<0.001)	7.0980	22.462 (<0.001)
Razón Valor de construcción / Valor de suelo [BtoLR]	-0.0142	-5.521 (<0.001)	-0.0106	-3.653 (<0.001)	-0.0121	-3.710 (<0.001)	-0.0001	-0.014 (0.989)
Área de parcela [AREA]	-0.3566	-16.224 (<0.001)	-0.3230	-26.8103 (<0.001)	-0.3419	-25.727 (<0.001)	-0.2761	-10.806 (<0.001)
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1) [LCU]	-0.1140	-3.850 (<0.001)	-0.0194	-0.286 (0.775)	-0.1275	-2.279 (0.002)	-0.1688	-2.381 (0.018)
Tiempo de viaje a San José - flujo libre [SJTT]	-0.1859	-12.849 (<0.001)	-0.1450	-5.671 (<0.001)	-0.3128	-6.895 (<0.001)	-0.1354	-3.657 (<0.001)
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre [HETT]	-0.1529	-9.038 (<0.001)	-0.0802	-3.0708 (0.002)	-0.2222	-5.859 (<0.001)	-0.1218	-2.785 (0.006)
Pendiente [SLP]	-0.0012	-0.5623 (0.574)	-0.0002	-0.0474 (0.962)	-0.0018	-0.333 (0.739)	0.0113	1.109 (0.268)
Modelo 1	Ecuación [1] / Base de datos: 1987-2008 (7435 registros) / Evidencia de procesos espaciales / Método de estimación: mínimos cuadrados ordinarios corregidos por heteroscedasticidad							
Modelo 2	Ecuación [2] / Base de datos: 1997-1999 y 2007 (1929 registros) / Rezago espacial / Método de estimación: máxima verosimilitud							
Modelo 3	Ecuación [3] / Base de datos: 2007 (1552 registros) / Rezago espacial y error espacial / Método de estimación: máxima verosimilitud							
Modelo 4	Ecuación [4] / Base de datos: 1997-1999 (377 registros) / Sin evidencia de procesos espaciales ni de heteroscedasticidad / Método de estimación: mínimos cuadrados ordinarios							

En gris: coeficientes no significativos al 95% de confianza

Finalmente, parece claro que (en promedio) el efecto del límite de crecimiento es un diferencial de precios negativo: los valores más allá del límite de crecimiento urbano tienden a ser menores que los valores dentro de dicho límite. Esto es cierto para tres de cuatro modelos (1, 3 y 4), que presentan coeficientes negativos y significativos al 98% de nivel de confianza. El único caso no significativo (modelo 2, de diferencia-en-diferencias) se discute posteriormente.

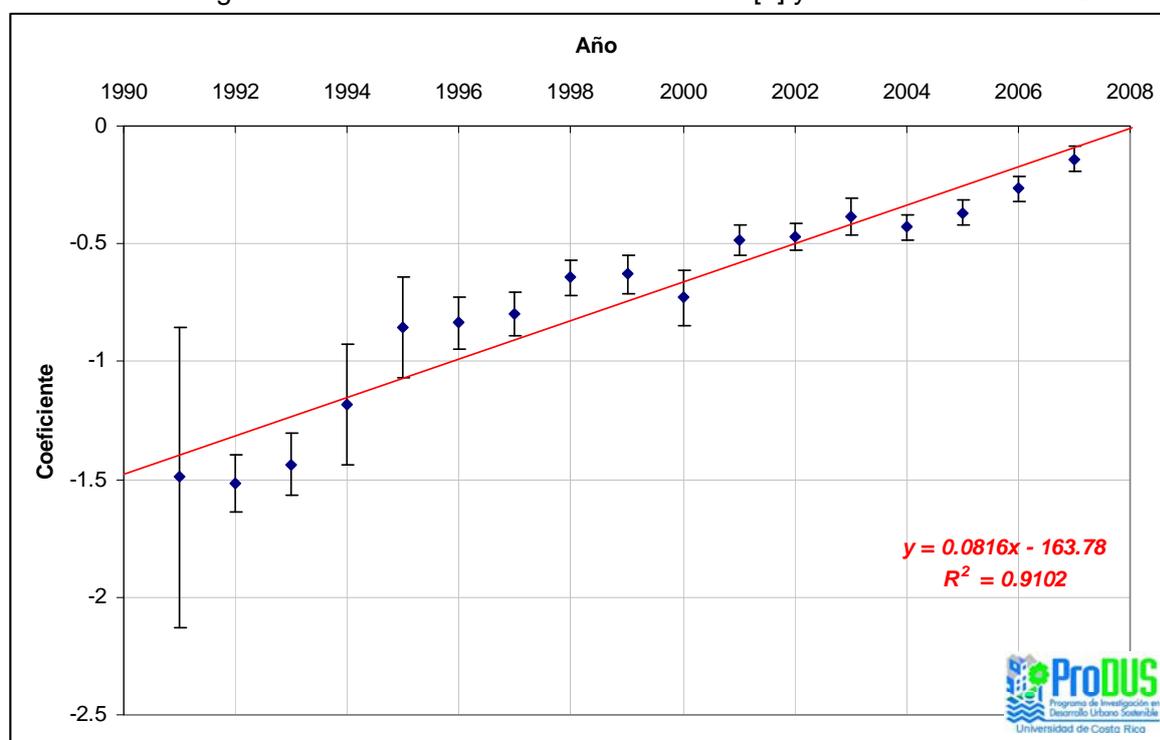
³⁶ No existen mediciones directas ni estimaciones de velocidad de circulación para 1997-1999, por lo cual no se pudo probar esta hipótesis directamente. La evidencia de los coeficientes parece consistente con ella (probablemente explique parte del coeficiente de periodo en el modelo 3), aunque el tema queda pendiente de exploración.

Tendencias de los valores del suelo

El análisis de los valores del suelo, utilizando los modelos hedónicos, permite afirmar que estos presentan una tendencia fuertemente creciente (en promedio) en la zona de estudio. Específicamente, se ha empleado el modelo 1 (ecuación [1], base de datos 1987-2008) para evaluar la variación de los niveles promedio del valor del suelo con respecto al año 2008.

La figura 4 muestra los coeficientes de la regresión que miden las diferencias en el valor por metro cuadrado del suelo, con respecto a 2008, según el modelo 1 (ecuación [1], base de datos 1987-2008). Estos coeficientes muestran el efecto después de haber controlado por los factores del modelo hedónico base (el efecto del límite de crecimiento urbano, accesibilidad a San José y Heredia y pendientes, así como área y valor de la construcción de cada parcela). Solo se muestran los coeficientes que son estadísticamente significativos.

Figura 4. Coeficientes de regresión de variables dicotómicas que representan cada año. Modelo de regresión 1 estimado con base en ecuación [1] y base de datos 1987-2009³⁷



Como es claro de la correlación entre año y coeficiente, que es positiva, los valores del suelo han crecido sistemáticamente desde inicios de la década de 1990. Los valores del suelo en la zona de estudio, según las estimaciones realizadas, eran 1,5 veces menores en 1993 que en 2008. Deben señalarse dos importantes factores: se otorgan actualmente muchas más hipotecas actualmente que hace dos décadas (refiérase a la sección 2: en 2007, se registraron 1158 hipotecas, 105 veces más que en 1993). Este cambio no es solo cuantitativo. Las hipotecas también muestran un cambio en su patrón espacial. Existen muchas más hipotecas otorgadas lejos de las zonas centrales conforme pasa el tiempo. Por ejemplo, el 29,5% de las

³⁷ Los coeficientes para 1987 y 1988 no se muestran porque no son estadísticamente significativos. Intervalos de confianza al 95% utilizando errores estándares corregidos por heteroscedasticidad. Refiérase a anexo.

hipotecas otorgadas en 2007 estaba fuera del anillo de contención vs. tan solo el 22,7% de las hipotecas otorgadas en 2002, 2 de las 14 hipotecas otorgadas en 1994, y ninguna de las 11 correspondientes a 1993 (todas las cifras en la zona de estudio).

El cambio en el valor promedio puede obedecer a dos factores. En primer término, como se demostró en la sección I, la ciudad ha estado creciendo aceleradamente durante la última década en la zona de estudio (y en general, en muchas de las zonas periféricas de la región). Esto ha implicado la generación de subcentros, que a su vez significa un cambio en los patrones de accesibilidad. La generación de nuevas centralidades incluye el reforzamiento de áreas industriales en Heredia y al oeste de San José, lo cual significa que la zona de estudio se ha vuelto más accesible durante las últimas dos décadas. Y la teoría de localización residencial claramente relaciona la accesibilidad a centros de trabajo con la renta del suelo (véase sección II). Asimismo, como se señaló en el análisis del modelo hedónico base, este factor parece tener una importancia creciente en las decisiones de localización de los hogares de la zona de estudio y, por ello, un impacto cada vez mayor sobre la renta del suelo.

Figura 5. Coeficiente de valor del suelo por año vs. mediana del ingreso por hogar³⁸



Segundo, los ingresos por hogar en Costa Rica han estado aumentando sistemáticamente durante la última década. Los modelos de localización residencial utilizan la restricción presupuestaria (el total de ingresos del hogar) en la derivación de la utilidad de decidir la combinación de renta del suelo-costo de transporte y consumo de otros bienes. Si el ingreso aumenta, la posibilidad de pagar más por consumir bienes que produzcan utilidad (en particular, por una localización y por transportarse) aumenta también. Consecuentemente, es de esperar

³⁸ Los coeficientes para 1987 y 1988 no se muestran porque no son estadísticamente significativos. Intervalos de confianza al 95% utilizando errores estándares corregidos por heteroscedasticidad. Refiérase a anexo.

que los propietarios de la tierra – que son monopolistas³⁹ porque cada localización del espacio urbano es única – reaccionen ante esta prosperidad aumentando el precio que cobran por esa localización.

La figura 5 muestra la relación entre el ingreso por hogar (mediana del ingreso por hogar nacional en colones reales de 2005; este es generalmente menor que la mediana del ingreso por hogar regional pero tiene una tendencia similar) con los coeficientes estimados – es decir, la diferencia del valor del suelo con respecto a 2008. La correlación entre ingreso y coeficiente es de menor magnitud que con el paso del tiempo (porque no solo el aumento de ingresos familiares presionan el valor del suelo al alza) pero también es claramente positiva y de una magnitud considerable (69%).

Román (2008) discute con mayor profundidad las interacciones de los agentes del mercado inmobiliario y los efectos del ingreso y las tasas de interés nacionales (e internacionales) sobre el crecimiento del sector construcción (véase también Pujol et al., 2009). En esencia, dado que el ingreso es creciente, (a) se amplía la cantidad de agentes económicos demandando, y compitiendo por las mismas localizaciones de, suelo urbano (en las nuevas actividades económicas y para nuevas residencias); (b) la disponibilidad a pagar por una determinada localización de esos agentes económicos aumenta, y (c) los dueños del suelo están en una posición de extraer por lo menos parte de la disponibilidad a pagar del agente económico, dado su control del suelo.

La tendencia hacia crecientes valores del suelo parece clara y es consistente con otras medidas (por ejemplo, el carácter positivo y significativo del coeficiente de regresión de la variable T de los modelos 2 y 5). Deben, sin embargo, señalarse algunas limitaciones del análisis. Aunque en efecto el valor promedio del suelo ha aumentado, no se han explorado las interacciones entre los determinantes de este valor y el tiempo (las variables categóricas temporales). La ausencia de información sobre tiempos de viaje reales en el pasado es una limitante muy importante a la evaluación de las causas en el crecimiento de los valores del suelo – dado que parece aumentar su importancia en el tiempo y porque, aunque la motorización y flujos viales han aumentado, la oferta de transporte (en términos de vialidad pero también de transporte público) es prácticamente la misma durante todo el periodo de estudio. Esto significa un patrón cambiante de accesibilidad: los costos de transporte reales para los agentes económicos aumentan con el tiempo, y este aumento tiene patrones espaciales diversos porque las carreteras principales sufren congestión a niveles distintos y en momentos distintos de la serie de tiempo⁴⁰.

³⁹ El suelo es una mercancía que no puede ser reproducible (no se puede "crear" más suelo, excepto modificando el entorno). En la práctica, cada localización es única y puede tener muchos usos potenciales de modo que la oferta es completamente inelástica y el precio del suelo es definido por la disponibilidad a pagar del uso que ofrezca la mayor renta al dueño del suelo. Si todos los usos tienen mayores ingresos, el oferente monopolista debería ser capaz de capitalizar por lo menos parte de ese ingreso adicional en la renta del suelo que está ofreciendo en el mercado. (La regulación es una limitante al poder monopolista del dueño del suelo, pues limita los usos del suelo y puede, en principio, prohibir algún uso muy rentable.)

⁴⁰ Estos costos de congestión tienden a igualarse en el largo plazo por los principios de equilibrio de Wardrop (véase Ortúzar y Willumsen, 2001): que el costo de viaje entre cualesquiera dos puntos de una red, por cualquiera de sus rutas, es a lo sumo el costo que experimenta un viajero adicional que transite por cualquiera de esas rutas, y que el costo de transporte para ese viaje que de hecho ocurre, dadas las condiciones del sistema, es el mínimo costo posible (si los vehículos, hipotéticamente, se distribuyeran por cualquier otra combinación de rutas, el costo promedio del sistema sería mayor que en

Una segunda limitación es la ausencia de la variable ingresos del hogar (y en general, características del hogar) en la base de datos. Algunos modelos de precios hedónicos (e.g. Knaap, 1985 o Maciel y Biderman, 2007) han suplido esta deficiencia asignando a los puntos con valor del suelo conocido las características del segmento censal en que se asientan. Aunque el censo de 2000 costarricense no tiene información de ingresos, este enfoque podría resultar prometedor para mejorar el modelo base utilizando índices que se relacionen con el ingreso (e.g. porcentaje de hogares de estratos de altos ingresos o índices indirectos de ingreso basados en tenencia de bienes y niveles educativos). Sin embargo, este método solo puede capturar la variación espacial del ingreso – y el factor determinante parece ser el *crecimiento en el tiempo* del ingreso por hogar.

Por último, debe señalarse que el análisis de dependencia espacial permitió detectar un sesgo en el modelo 1 (suponiendo una relación proporcional al inverso de la distancia para los valores del suelo ubicados a menos de 5000 m. entre sí). Las pruebas estadísticas – resumidas en el cuadro 2 – muestran claramente que es posible la presencia de autocorrelación espacial en los errores y un rezago espacial. Sin embargo, por limitaciones computacionales, no fue posible estimar el modelo con pesos espaciales. Se considera que el sesgo en el modelo es probablemente limitado, pues los resultados son consistentes con todos los otros modelos, que no están sesgados por dependencia espacial.

El impacto del límite de crecimiento

A partir del modelo de precios hedónicos base, es posible concluir que el valor del suelo más allá del límite de crecimiento es menor que dentro de él (una vez controladas las características del inmueble y la accesibilidad a las centralidades más importantes). Los resultados del modelo 1, a su vez, demuestran que los valores del suelo han crecido fuertemente desde inicios de la década de 1990. La hipótesis general planteada es que, conforme la ciudad ha crecido, el límite de crecimiento básicamente ineficiente en la zona de estudio se ha transformado en una restricción real. Esta restricción no prohíbe completamente la urbanización pero sí la restringe a desarrollos en muy baja densidad. Como consecuencia, la renta del suelo observada es menor que la renta del suelo teórica (que existiría en ausencia del límite de crecimiento porque, en principio, el mayor y mejor uso en este espacio sería más intenso que el tipo de urbanización tolerada por la regulación) pero mayor que la renta agrícola – la rentabilidad de una parcela de café, que es el cultivo predominante en la zona de estudio..

Se planteó el modelo 2 (ecuación [2], base de datos 1997-1999/2007) para realizar una primera evaluación del cambio diferenciado de los valores del suelo más allá del límite de crecimiento. La ecuación [9] muestra los resultados seleccionados del modelo de diferencia-en-diferencias (estimado con un modelo que incluye rezago y error espacial suponiendo una matriz de pesos del inverso de la distancia para puntos a menos de 5000 m. entre sí).

$$VS_{it} = 5,9810 - 0,0194 \cdot LCU_{it} + 0,5502 \cdot T_t - 0,0926 \cdot T_t \cdot LCU_{it} + \sum \beta_i V_i \quad [9]$$

(13,3473)
(0,2860)
(16,1609)
(1,4197)

De la ecuación [9], es posible interpretar los tres efectos señalados en el marco conceptual:

- El coeficiente δ_1 no es significativo (t = 0,286), lo cual sugiere que el límite de crecimiento no actúa como una restricción: no existe una diferencia entre el valor del

la condición de equilibrio). Aún así, distintos años tienen distintas relaciones de accesibilidad, algo no reflejado en las versiones presentadas del modelo.

suelo más allá del límite de crecimiento y los valores del suelo dentro de dicho límite⁴¹. Esta interpretación, sin embargo, es claramente inconsistente con la evidencia obtenida del modelo de precios hedónicos base. Así, debería favorecerse la interpretación de que este coeficiente está sesgado por razones metodológicas: de dependencia espacial, multicolinealidad o variables omitidas.

- El coeficiente δ_2 , de la variable T, representa la apreciación del suelo durante la década que va de 1997 a 2007. Es fuertemente significativo, positivo (como cabe esperar del análisis del crecimiento en el valor del suelo) y de una magnitud considerable: la elasticidad estimada es de un +0,55.
- El coeficiente δ_3 , que mide el tratamiento (i.e. el cambio del gradiente, de acuerdo con las hipótesis planteadas), tampoco es significativo aunque el valor de t (1,420) es mucho mayor que el t del coeficiente δ_1 . Este resultado, en conjunto con la no significancia del coeficiente δ_1 , implicaría que el gradiente de precios no varía en el límite de crecimiento urbano.

Existen tres posibles causas para la inconsistencia detectada (la no significancia de los coeficientes δ_1 y δ_3): Una primera posibilidad es metodológica, que los patrones de valores del suelo disponibles en 2007 es más completa (cubre con mayor densidad un área mayor) que la distribución de 1997-1999 – véase al respecto la figura 3. Esto es particularmente cierto de los distritos al norte de Barva (San Pedro, San José de la Montaña), para los cuales existen más hipotecas y estas están mejor distribuidas en 2007 que en 1997-1999 – aunque también existe una explicación sustantiva para ello: la ciudad ha crecido y conforme ha pasado el tiempo, hay más desarrollos disponibles más alejados de los centros. Este problema debería haber sido resuelto con la corrección introducida por el rezago espacial; siempre existe la posibilidad de un resultado sesgado, por suposiciones erróneas de las relaciones espaciales (se supuso el inverso de la distancia) o desbalances espaciales muy grandes en la serie de datos. Una segunda posibilidad hubiera sido que los altos niveles de correlación entre LCU y T·LCU reduzcan artificialmente la significancia por multicolinealidad⁴²; una prueba de inflación de varianzas en la versión lineal del modelo 2 parece descartar esta explicación.

La tercera posibilidad es más consistente con los resultados previos y con las hipótesis teóricas acerca del comportamiento esperable de los gradientes de precios. Bajo esta suposición, el resultado sesgado (no significancia del diferencial entre las propiedades dentro y fuera del LCU) se debe a que este diferencial no es discreto sino un cambio en el gradiente de precios (refiérase a la figura 2). En términos del modelo 2, esto implicaría que la interacción entre las variables de costo de viaje a centralidades y los términos LCU y T·LCU deben ser significativas

⁴¹ El coeficiente debe ser negativo y significativo porque la renta más allá del límite de crecimiento debería ser menor que la renta urbana: sea porque es la renta agropecuaria, sea porque se restringe el mayor y mejor uso. Caso contrario, la ciudad debería extenderse en forma continua más allá del límite de crecimiento urbano. Además de la evidencia del modelo hedónico base, los patrones de urbanización analizados en la sección I fuertemente sugieren que este no es el caso (aunque siempre resta la posibilidad de que el cambio de uso se haya visto retrasado por especulación).

⁴² Cuando dos o más variables explicativas, en un modelo de regresión, están fuertemente correlacionadas entre sí, la varianzas asociada a cada una aumenta artificialmente. Así, se desechan como no significativas variables que en realidad sí lo son (esto implica que, si en una regresión todos los determinantes son significativos, puede ignorarse la multicolinealidad: los coeficientes son incluso mejores que lo indicado por la prueba de t bajo estas condiciones). La multicolinealidad se detecta con el factor de inflación de la varianzas, que también permite estimar errores estándar (y coeficientes de t) no sesgados por esta correlación entre las variables explicativas.

y negativas (porque el gradiente observador debe ser menor que la renta teórica en ausencia del límite de crecimiento urbano, como se argumentó en la discusión sobre sus efectos).

Se ha planteado, en consecuencia, el modelo 5 (definido por la ecuación [10]), que corresponde a la aplicación de diferencia-en-diferencias con términos de interacción entre las variables independientes y los efectos del tratamiento/tiempo. Únicamente se incluyeron como determinantes el tiempo de viaje a San José y el límite de crecimiento urbano (que además define el grupo tratado), así como la interacción del costo de viaje con el tiempo y grupo de control. La estructura del modelo es muy propensa a sufrir multicolinealidad, lo cual sesga los resultados; de ahí que solo se haya mantenido la variable que se investiga.

$$VS_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot SJTT_i + \delta_1 \cdot LCU_{it} + \delta_2 \cdot T_t + \delta_3 \cdot LCU_{it} \cdot T_t + \beta_2 \cdot LCU_{it} \cdot T_t \cdot SJTT_t + \mu \quad [10]$$

Al igual que en todos los otros modelos, con excepción de las variables categóricas, se utiliza en todos los casos el logaritmo natural de cada variable. Los resultados del modelo, que incluye correcciones por rezago espacial y correlación espacial de errores, se resumen en la ecuación [11]: la magnitud y signo del coeficiente y el valor del estadístico t, que se indica entre paréntesis bajo cada coeficiente⁴³.

$$VS_{it} = 1,230 - 0,097 \cdot SJTT_i - 0,226 \cdot LCU_{it} + 0,511 \cdot T_t + 1,654 \cdot LCU_{it} \cdot T_t - 0,285 \cdot LCU_{it} \cdot T_t \cdot SJTT_t + \mu \quad [11]$$

(4,811) (3,842) (3,086) (12,970) (3,771)
(4,096)

Pese a su forma simplificada, este modelo describe mucho mejor que el modelo 2 los cambios ocurridos en el valor del suelo en la zona de estudio:

- Los valores ubicados más allá del límite de crecimiento son, en promedio, menores que aquellos ubicados dentro (elasticidad de LCU igual a -0,226).
- La apreciación de las propiedades fuera del límite de crecimiento es de tales proporciones que, en el límite de crecimiento mismo, estas son más valiosas que el promedio de toda la serie de datos. Nótese que este promedio incluye datos de 1997-1999, consistentemente más bajos que los valores de 2007; por esta razón, el resultado es consistente con el modelo 3, que predice un valor promedio menor fuera del límite de crecimiento cuando solo se consideran los valores del suelo de 2007.
- El gradiente de precios en efecto se vuelve más pronunciado, durante el segundo periodo, a partir del límite de crecimiento urbano. Este efecto es tan fuerte que las propiedades ubicadas a seis minutos o más del límite de crecimiento ya han agotado el efecto (específico más allá del límite de crecimiento) de la apreciación del valor del suelo; es decir, $VS_{it} - f(LCU, SJTT) = 1,654 \cdot 1 \cdot 1 - 0,285 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 6 \leq 0$.
- Este resultado, asimismo, permite explicar por qué los coeficientes de LCU y de T·LCU del modelo 2 no son significativos: el efecto espacial de LCU, negativo, y el cambio de gradiente (interacción entre LCU, T, y tiempo de viaje a San José) se compensan con la apreciación que sufren las propiedades más allá del límite de crecimiento (interacción entre LCU y T), de modo que el efecto conjunto de estas tres dinámicas es nulo en promedio – y por lo tanto, los coeficientes mencionados no son significativos en el modelo 2.

⁴³ Refiérase al anexo para la estimación de modelos lineales, las pruebas de dependencia espacial y los modelos estimados. Todos los coeficientes reportados son significativos al 99% de confianza.

El impacto del límite de crecimiento bajo una suposición de endogeneidad

En general, los análisis basados en metodologías de precios hedónicos que evalúan políticas públicas (y en particular, que evalúan los impactos del límite de crecimiento) suponen que las políticas públicas evaluadas son atributos exógenos del suelo. Grout et al. (2008) señalan que es razonable esperar que muchas de los factores que determinan el valor del suelo sean utilizados también por los planificadores regionales para definir el límite de crecimiento de una región. Por otra parte, el uso de variables categóricas (y más particularmente, de modelos de diferencia-en-diferencias) en el fondo asumen que los datos utilizados en los análisis de regresión tienen la misma estructura que en experimentos controlados. En experimentos controlados, el tratamiento se aplica a un grupo de registros aleatoriamente seleccionado (y consecuentemente, el grupo de control también se define aleatoriamente como los registros no seleccionados). Es claro que en un análisis de regresión, las agrupaciones no se realizan aleatoriamente sino sistemáticamente, lo cual puede conducir a sesgos en las estimaciones de promedios.

Con el fin de realizar estimaciones metodológicamente libres de estos problemas, se realizaron estimaciones utilizando el *propensity score matching*. Como se describió en la metodología de esta sección, el análisis de *propensity score matching* requiere de un modelo de elección discreta para estimar el *propensity score* (probabilidad, en este caso, de que el registro se ubique más allá del límite de crecimiento de la región). Los resultados de estos modelos se reportan en el cuadro 2 y el anexo. Siguiendo el razonamiento de Grout et al. (2008), los determinantes seleccionados son los mismos que los utilizados en los modelos de precios hedónicos desarrollados. A partir del *propensity score*, se realizó el emparejamiento siguiendo el método propuesto por Cochran y Rubin (1973) y se estimaron los efectos del tratamiento sobre los datos tratados (ATT) – que se resumen en el cuadro 3.

Cuadro 2. Coeficientes de regresión de modelos logit que definen el *propensity score*.
Variable dependiente: 1 si registro está fuera del límite de crecimiento urbano

Variable	Modelo 1 1987-2008		Modelo 2 1997-1999 y 2007		Modelo 3 2007		Modelo 4 1997-1999	
	Coef.	Estad. t (Prob.)	Coef.	Estad. t (Prob.)	Coef.	Estad. t (Prob.)	Coef.	Estad. t (Prob.)
Intercepto	-53.273	-34.56 (<0.001)	-50.094	-18.668 (<0.001)	-49.941	-17.008 (<0.001)	-54.405	-7.526 (<0.001)
Razón de valor de construcción / valor del suelo [BtoLR]	-0.048	-3.678 (<0.001)	-0.019	-0.821 (0.412)	-0.011	-0.433 (0.665)	-0.076	-1.131 (0.258)
Área de parcela [AREA]	0.339	6.752 (<0.001)	0.2886	3.023 (0.003)	0.2394	2.235 (0.025)	0.45352	2.088 (0.037)
Tiempo de viaje a San José - flujo libre [SJTT]	2.020	17.639 (<0.001)	2.1678	10.117 (<0.001)	2.2558	9.287 (<0.001)	1.81415	3.630 (<0.001)
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre [HETT]	6.829	32.090 (<0.001)	6.1925	16.379 (<0.001)	6.0743	14.637 (<0.001)	7.11719	7.003 (<0.001)
Porcentaje de pendiente [SLP]	-0.113	-5.526 (<0.001)	-0.0955	-2.631 (0.009)	-0.0914	-2.263 (0.024)	-0.10792	-1.261 (0.207)

En el cuadro 2, se muestran coeficientes seleccionados de los modelos logit que se utilizaron para calcular el *propensity score* (refiérase al anexo para los modelos completos; la diferencia

radica en que los modelos 1 y 2 tienen variables categóricas para cada año con datos en la serie).

En general, las variables del modelo de precios hedónicos base (área, razón de construcción a suelo, tiempo de viaje a San José y a Heredia, y pendiente) tienden a ser significativas con la excepción de la razón entre el valor de construcción y el valor del suelo (contrario a lo esperable: que haya una relación inversa porque la inversión en construcción es fuertemente desincentivada más allá del límite de crecimiento por la regulación). Cuanto mayor la distancia de centralidades, mayor la probabilidad de que el registro esté más allá del límite de crecimiento (y el coeficiente de accesibilidad a Heredia presenta magnitudes mayores que el coeficiente de accesibilidad a San José, lo cual es consistente con el acceso privilegiado de áreas fuera del límite de crecimiento a San José, a través de la ruta nacional 32). La pendiente se relaciona inversamente con la probabilidad de estar más allá del límite de crecimiento, contrario a lo que se esperaría pues el área dentro de dicho límite tiende a ser más plana. Una posible explicación es que el banco sea más exigente con las propiedades más allá del límite de crecimiento (y en general, menos accesibles) al otorgar hipotecas. Finalmente, el área y la probabilidad de localizarse más allá del límite de crecimiento urbano están directamente relacionadas – como cabría esperar, dadas las restricciones de fraccionamiento para el área ubicada más allá del límite de crecimiento.

Cuadro 3. Impacto del límite de crecimiento urbano sobre los valores del suelo. Resultados de *propensity score matching*

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
	1987-2008	1997-1999 y 2007	2007	1997-1999
<i>Tratamiento</i>	Fuera de límite de crecimiento urbano			
<i>Variable respuesta</i>	Valor del suelo (dólares por metro cuadrado, dólares reales de 2008)			
Cantidad de observaciones				
Con tratamiento	708	220	282	34
Sin tratamiento	379	120	183	18
Diferencia - todos los registros				
Diferencia de medias	-55.36	-67.08	-76.02	-34.40
Error estándar	1.98	5.17	6.17	4.50
Estadístico t (prob.)	-27.995 (<0.0001)	-12.963 (<0.0001)	-12.324 (<0.0001)	-7.645 (<0.0001)
ATT⁴⁴				
Diferencia de medias	-14.10	-45.09	-59.86	-22.19
Error estándar	3.65	16.15	19.13	6.94
Estadístico t (prob.)	-3.866 (0.0001)	-2.792 (<0.0053)	-6.5033 (0,0018)	-3,199 (0.0014)

El cuadro 3 permite confirmar que el límite de crecimiento urbano tiene un impacto significativo sobre los valores del suelo. A finales de la década de 1990, considerando solo propiedades comparables entre sí, aquellas ubicadas más allá del límite de crecimiento valían menos que las propiedades dentro del límite de crecimiento: en promedio, el diferencial estimado fue de -22,19 dólares de EEUU (dólares reales de 2008). Este diferencial aumentó a casi 60 dólares en 2007.

⁴⁴ ATT: *Average Treatment on the Treated*; representa el efecto promedio del tratamiento sobre los datos tratados (i.e. cuánto menor es el valor fuera del LCU comparado con dentro).

Nótese que en ambos casos, el resultado del emparejamiento (*matching*) es una reducción en el diferencial. Si se compararan todos los registros en la muestra, el diferencial es mayor pero esto se debe a que algunas propiedades urbanas están extraordinariamente bien localizadas y, por ello, son de gran valor. Igualmente, en 2007 (y en la base general), existen algunos registros muy alejados del límite de crecimiento que en principio deberían tener valores atípicamente bajos. Así, el *propensity score matching* reduce el sesgo que introducen estos valores extremos.

La reducción introducida por el límite de crecimiento durante el periodo 1987-2008 fue, en promedio, de 14 dólares de EEUU – menos de 1/3 que lo obtenido si no se hubiera realizado el *matching*. Estos resultados comprueban el carácter espacialmente heterogéneo de la muestra y refuerzan la importancia de investigar posibles sesgos por dependencia espacial. Nótese asimismo su evolución en el tiempo: con toda la serie (1987-2007), el diferencial del valor del suelo es de 14 dólares; con solo 1997-1999, es de 34 dólares, aumenta a 45 dólares si se utiliza la muestra 1997-1999 y 2007, y a casi 60 dólares cuando solo se considera el efecto en 2007. Contrario a otras evidencias (del análisis de modelos hedónicos y de los efectos teóricos esperados), pareciera que el impacto del límite de crecimiento es mayor conforme pasa el tiempo.

8.4. Conclusiones

Esta sección sintetiza información diversa recopilada en el marco del proyecto para evaluar los determinantes del valor del suelo en el norte de Heredia. Específicamente, se diseñaron metodologías para aislar el impacto sobre el precio del suelo del límite de crecimiento urbano de la GAM.

El análisis demuestra claramente que existe un diferencial de precios introducido por el límite de crecimiento. Los valores del suelo más allá del límite de crecimiento, una vez controlados los efectos de accesibilidad a centralidades y otras características de las propiedades, son sistemáticamente menores que los valores promedio de las series de datos. Los análisis de modelos de precios hedónicos permiten cuantificar reducciones con respecto al promedio de entre un 10 y un 20% (elasticidades negativas y significativas para la variable categórica LCU, igual a 1 para las propiedades más allá del límite de crecimiento urbano, entre 0,11 y 0,17). Los diferenciales predichos al comparar registros similares mediante *propensity score matching* son aún mayores (según la muestra y el modelo, varían entre 14 y 60 dólares por metro cuadrado: entre un 14,4% y un 51,4% en porcentajes con respecto al promedio)⁴⁵.

Se atribuye el diferencial introducido por el límite de crecimiento a un cambio en el gradiente de precios de la zona de estudio. Este cambio se debe a que el mayor y mejor uso teórico (i.e. en ausencia del límite de crecimiento) está prohibido por la regulación regional. Sin embargo, la renta del suelo es probablemente mayor a la renta agrícola. Esto se debe a la debilidad de la regulación regional, que tolera urbanización residencial en baja densidad de terrenos más allá del límite de crecimiento. Este uso es menos intenso que el mayor y mejor uso, lo cual explica la reducción en el gradiente de precios, pero es más rentable que la actividad agropecuaria. Debe explorarse relativamente pronto si este tipo de urbanización es compatible con los objetivos ambientales que motivaron la implementación del límite de crecimiento urbano, cuántos

⁴⁵ Para 1997-1999, un 32%; para 1997-1999 y 2007, un 42%; para solo 2007, un 51,4%; para toda la serie de datos 1987-2007: un 14,4%.

Estimado como: $\text{promedio}((VS_{LCU=1}) - \text{promedio}(VS_{LCU=0})) / \text{promedio}(VS_{total})$, refiérase al anexo para el promedio por año.

desarrollos deben permitirse y si se justifican restricciones adicionales al mercado inmobiliario en esta zona.

Metodológicamente, es clara la necesidad de explorar posibles sesgos por dependencia espacial en los modelos de precios hedónicos. Esto no significa que todo modelo requiera de efectos espaciales ni que deban incluirse ambos efectos (rezago y término de error) siempre. Los resultados muestran todas las posibilidades de modelación: desde modelos que pueden ser estimados por simples mínimos cuadrados ordinarios (sin necesidad de correcciones por dependencia espacial o heteroscedasticidad) hasta modelos que requieren ambos términos. La estimación de modelos con efectos espaciales puede verse limitada por la capacidad computacional del hardware muy rápidamente⁴⁶.

Existen también interesantes oportunidades para el uso de experimentos naturales (la aplicación de técnicas de experimentos controlados a series de datos no necesariamente generadas por procesos aleatorios). Es importante revisar con detalle los supuestos en la aplicación de este tipo de técnicas y contrastar resultados con diversas opciones metodológicas, dado el potencial para obtener resultados sesgados. En particular, los modelos con diferencia-en-diferencias no han sido ampliamente explotados.

Finalmente, es necesario extender el trabajo de modelación de valores del suelo en el norte de Heredia para considerar el impacto de la congestión sobre los valores del suelo. Además, resulta necesario expandir la evaluación de los patrones de crecimiento urbano, y del límite regulatorio, a otras variables incluidos los costos ambientales de dicho crecimiento.

⁴⁶ Un sistema operativo de 32bits al cual se le liberó un máximo teórico de 3GB de memoria RAM fue capaz de estimar, con el software R (R Development Core Team, 2011), un modelo con error y rezago espacial de alrededor de 2000 registros. Pero no pudo estimar un modelo con solo rezago espacial y cerca de 7000 registros (aunque sí pudieron crearse las matrices de pesos espaciales y realizarse pruebas de diagnóstico).

8.5. Anexo

MODELO 1. Estimaciones de regresiones basadas en ecuación [1] y base de datos 1987-2008
A. Mínimos cuadrados ordinarios

Variable	Modelo 1. 1987-2008				
	Coeficiente	Error Std.	Estadístico t (Pr(> t))	Error Std. Corregido 1/	Estadístico t corregido 1/ (Pr(> t))
Intercepto	8.6645	0.1079	80.2702 (<2e-16***)	0.1441	60.1345 (<2e-16***)
Razón Valor de construcción / Valor de suelo	-0.0142	0.0016	-8.6687 (3.47e-08***)	0.0026	-5.5215
Área de parcela	-0.3566	0.0065	-55.2233 (<2e-16***)	0.0220	-16.2237 (<2e-16***)
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.1140	0.0224	-5.1010 (1.19e-04***)	0.0296	-3.8503
Tiempo de viaje a San José - flujo libre (min)	-0.1859	0.0134	-13.8360 (<2e-16***)	0.0145	-12.8488 (<2e-16***)
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre (min)	-0.1529	0.0138	-11.0465 (<2e-16***)	0.0169	-9.0378 (<2e-16***)
Pendiente	-0.0012	0.0029	-0.4079 (0.5740)	0.0021	-0.5623
Año 2007	-0.1393	0.0269	-5.1705 (9.49e-08***)	0.0261	-5.3416
Año 2006	-0.2667	0.0289	-9.2411 (<2e-16***)	0.0278	-9.5906 (<2e-16***)
Año 2005	-0.3678	0.0286	-12.8726 (<2e-16***)	0.0277	-13.2654 (<2e-16***)
Año 2004	-0.4288	0.0282	-15.2202 (<2e-16***)	0.0277	-15.4932 (<2e-16***)
Año 2003	-0.3841	0.0342	-11.2384 (<2e-16***)	0.0403	-9.5214 (<2e-16***)
Año 2002	-0.4693	0.0359	-13.0776 (<2e-16***)	0.0302	-15.5498 (<2e-16***)
Año 2001	-0.4820	0.0341	-14.1446 (<2e-16***)	0.0328	-14.6962 (<2e-16***)
Año 2000	-0.7271	0.0394	-18.4486 (<2e-16***)	0.0600	-12.127 (<2e-16***)
Año 1999	-0.6286	0.0603	-10.4232 (<2e-16***)	0.0427	-14.7207 (<2e-16***)
Año 1998	-0.6428	0.0445	-14.4566 (<2e-16***)	0.0379	-16.9538 (<2e-16***)
Año 1997	-0.7991	0.0676	-11.8188 (<2e-16***)	0.0464	-17.2052 (<2e-16***)
Año 1996	-0.8366	0.0926	-9.0300 (<2e-16***)	0.0576	-14.5269 (<2e-16***)
Año 1995	-0.8561	0.1385	-6.1809 (3.95e-15***)	0.1087	-7.8732

Restricciones a la urbanización y valores del suelo
en la Gran Área Metropolitana: el caso del norte de Heredia

Variable	Modelo 1. 1987-2008				
	Coeficiente	Error Std.	Estadístico t (Pr(> t))	Error Std. Corregido 1/	Estadístico t corregido 1/ (Pr(> t))
Año 1994	-1.1816	0.1477	-8.0007 (<2e-16***)	0.1322	-8.9356 (<2e-16***)
Año 1993	-1.4356	0.1663	-8.6338 (<2e-16***)	0.0680	-21.1083 (<2e-16***)
Año 1992	-1.5181	0.1742	-8.7150 (<2e-16***)	0.0608	-24.9551 (<2e-16***)
Año 1991	-1.4900	0.5461	-2.7287 (4.81e-06***)	0.3256	-4.5763 (4.81e-06***)
Año 1988	-0.9424	0.5461	-1.7257 (0.6735)	2.2362	-0.4214 (0.6735)
Año 1987	0.7059	0.5462	1.2924 (0.1551)	0.4965	1.4219 (0.1551)
Error estándar de residuales 7409 grados de libertad	0.5455				
R2	0.5051				
R2 ajustado	0.5034				
Estadístico f (probabilidad) 25 y 7409 grados de libertad	7409 (< 2.2e-16)				
Prueba de Breusch-Pagan de heteroscedasticidad (probabilidad). 25 grados de libertad	249.3628 (< 2.2e-16)				
N	7435				

1/ Corrección de heteroscedasticidad

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

B. Pruebas de dependencia espacial

I de Moran

	I de Moran			Estadístico Z	Prob.
	Estimado	Esperado	Varianza		
Variable dependiente	2.06E-01	-1.35E-04	3.40E-06	111.917	< 2.2e-16
Residuos de regresión lineal	4.85E-02	-3.30E-04	3.33E-06	26.798	< 2.2e-16

Multiplicadores de Lagrange

	LM	Grados de libertad	Prob.
Rezago espacial	679.1574	1	< 2.2e-16
Error espacial	247.1099	1	< 2.2e-16
Rezago espacial error	2.8466	1	0.09157
Error espacial rezago	434.894	1	< 2.2e-16
Proceso SARMA	982.004	2	< 2.2e-16

MODELO 2. Estimaciones de regresiones basadas en ecuación [2] y base de datos 1997-1999/2007

A. Mínimos cuadrados ordinarios

Variable	Modelo 1. 1997-1999 y 2007				
	Coeficiente	Error Std.	Estadístico t (Pr(> t))	Error Std. Corregido 1/	Estadístico t corregido 1/ (Pr(> t))
Intercepto	7.6549	0.1855	41.276 ($<2e-16^{***}$)	0.2016	37.9674 ($<2e-16^{***}$)
Razón Valor de construcción / Valor de suelo	-0.0096	0.0029	-3.299 ($9.89e-04^{***}$)	0.0045	-2.1414 (0.0324*)
Área de parcela	-0.3336	0.0119	-28.06 ($<2e-16^{***}$)	0.0485	-6.8742 ($8.402e-12^{***}$)
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.0981	0.0667	-1.471 (0.141)	0.0652	-1.5038 (0.1328)
Tiempo de viaje a San José - flujo libre (min)	-0.1845	0.0237	-7.776 ($1.21e-14^{***}$)	0.0260	-7.1023 ($1.721e-12^{***}$)
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre (min)	-0.1152	0.0247	-4.655 ($3.46e-06^{***}$)	0.0337	-3.422 ($6.347e-04^{***}$)
Pendiente	-0.0012	0.0050	-0.242 (0.809)	0.0037	-0.3218 (0.7476)
T (año 2007 = 1)	0.5575	0.0343	16.234 ($<2e-16^{***}$)	0.0275	20.2822 ($<2e-16^{***}$)
T x Límite de crecimiento urbano	-0.0990	0.0659	-1.504 (0.133)	0.0595	-1.6645 (0.0962.)
Error estándar de residuales 1920 grados de libertad	0.5082				
R2	0.5388				
R2 ajustado	0.5369				
Estadístico f (probabilidad) 8 y 1920 grados de libertad	280.4 ($< 2.2e-16$)				
Prueba de Breusch-Pagan de heteroscedasticidad (probabilidad). 8 grados de libertad	151.8125 ($< 2.2e-16$)				
N	1929				

1/ Corrección de heteroscedasticidad

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

B. Pruebas de dependencia espacial

I de Moran

	I de Moran			Estadístico Z	Prob.
	Estimado	Esperado	Varianza		
Variable dependiente	2.38E-01	-5.19E-04	1.75E-05	56.9411	$< 2.2e-16$
Residuos de regresión lineal	3.83E-02	-1.26E-03	1.69E-05	9.6041	$< 2.2e-16$

Multiplicadores de Lagrange

	LM	Grados de libertad	Prob.
Rezago espacial	79.9095	1	< 2.2e-16
Error espacial	33.6104	1	6.73E-09
Rezago espacial error	0.9794	1	0.3223
Error espacial rezago	47.2784	1	6.16E-12
Proceso SARMA	80.8889	2	< 2.2e-16

C. Rezago espacial

Variable	Modelo 2. ML con dependencia espacial			
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Intercepto	5.8910	0.4414	13.3473	<2.2e-16
Razón Valor de construcción / Valor de suelo	-0.0106	0.0029	-3.6534	0.0003
Área de parcela	-0.3230	0.0120	-26.8103	<2.2e-16
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.0194	0.0678	-0.2860	0.7749
Tiempo de viaje a San José - flujo libre	-0.1450	0.0256	-5.6710	0.0000
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre	-0.0802	0.0261	-3.0708	0.0021
Pendiente	-0.0002	0.0049	-0.0474	0.9622
T (año 2007 = 1)	0.5502	0.0340	16.1609	<2.2e-16
T x Límite de crecimiento urbano	-0.0926	0.0653	-1.4197	0.1557
Rho (rezago espacial)	0.2820	0.0613	4.5994	0.0000
Varianza residual del ML sigma cuadrado	0.2536			
Criterio de información de Akaike	2851.1			
Estadístico de Wald (probabilidad)	21.155 (4.2363e-06)			
Log likelihood	-1414.5360			
N	1929			
Estadístico LM de autocorrelación espacial de residuos (probabilidad)	3.1885 (0.074158)			

MODELO 3. Estimaciones de regresiones basadas en ecuación [3] y base de datos 2007

A. Mínimos cuadrados ordinarios

Variable	Modelo 3. 2007				
	Coeficiente	Error Std.	Estadístico t (Pr(> t))	Error Std. Corregido 1/	Estadístico t corregido 1/ (Pr(> t))
Intercepto	8.3495	0.2187	38.17 (<2e-16***)	0.2326	35.895 (<2e-16***)
Razón Valor de construcción / Valor de suelo	-0.0109	0.0033	-3.257 (0.0012**)	0.0050	-2.1614 (0.0308*)
Área de parcela	-0.3418	0.0134	-25.601 (<2e-16***)	0.0554	-6.1652 (8.97e-10***)
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.1807	0.0459	-3.933 (8.76e-05)	0.0585	-3.0893 (0.0020**)

Variable	Modelo 3. 2007				
	Coeficiente	Error Std.	Estadístico t (Pr(> t))	Error Std. Corregido 1/	Estadístico t corregido 1/ (Pr(> t))
Tiempo de viaje a San José - flujo libre (min.)	-0.2020	0.0288	-7.014 (3.45e-12***)	0.0311	-6.4942 (1.12e-10***)
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre (min)	-0.1140	0.0289	-3.95 (8.17e-05***)	0.0401	-2.8431 (0.0045**)
Pendiente	-0.0028	0.0056	-0.498 (0.6185)	0.0043	-0.6477 (0.5172)
Error estándar de residuales 1545 grados de libertad	0.5315				
R2	0.5089				
R2 ajustado	0.5070				
Estadístico f (probabilidad) 6 y 1545 grados de libertad	266.8 (< 2.2e-16)				
Prueba de Breusch-Pagan de heteroscedasticidad (probabilidad). 6 grados de libertad	138.5046 (< 2.2e-16)				
N	1552				

1/ Corrección de heteroscedasticidad

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

B. Pruebas de dependencia espacial

I de Moran

	I de Moran			Estadístico Z	Prob.
	Estimado	Esperado	Varianza		
Variable dependiente	2.59E-01	-6.45E-04	2.34E-05	53.645	< 2.2e-16
Residuos de regresión lineal	5.01E-02	-1.54E-03	2.28E-05	10.832	< 2.2e-16

Multiplicadores de Lagrange

	LM	Grados de libertad	Prob.
Rezago espacial	101.2427	1	< 2.2e-16
Error espacial	36.9412	1	1.22E-09
Rezago espacial error	0.0763	1	0.7823
Error espacial rezago	64.3778	1	9.99E-16
Proceso SARMA	101.3191	2	< 2.2e-16

C. Rezago espacial (resultado sesgado)

Variable	Modelo 3. ML con dependencia espacial Sesgado			
	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)
Intercepto	6.3271	0.5126	12.3437	<2.2e-16
Razón Valor de construcción / Valor de suelo	-0.0119	0.0033	-3.6116	3.04E-04
Área de parcela	-0.3295	0.0135	-24.3468	<2.2e-16
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.0860	0.0483	-1.7810	0.0749
Tiempo de viaje a San José - flujo libre	-0.1539	0.0311	-4.9460	7.58E-07
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre	-0.0732	0.0306	-2.3949	0.0166
Pendiente	-0.0018	0.0056	-0.3285	0.7425
Rho (rezago espacial)	0.3106	0.0658	4.5960	4.31E-06
Varianza residual del ML sigma cuadrado	0.2763			
Criterio de información de Akaike	2428.1			
Estadístico de Wald (probabilidad)	21.123 (4.3066e-06)			
Log likelihood	-1205.0460			
N	1552			
Estadístico LM de autocorrelación espacial de residuos (probabilidad)	7.524 (0.0061)			

D. Modelo con rezago espacial y error espacial (tipo SAC)

Variable	Modelo 3. ML con dependencia espacial			
	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)
Intercepto	12.1950	0.6542	18.6402	<2.2e-16
Razón Valor de construcción / Valor de suelo	-0.0121	0.0033	-3.7097	2.075E-04
Área de parcela	-0.3419	0.0133	-25.7267	<2.2e-16
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.1275	0.0559	-2.2796	0.0226
Tiempo de viaje a San José - flujo libre	-0.3128	0.0454	-6.8945	5.406E-12
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre	-0.2222	0.0379	-5.8594	4.646E-09
Pendiente	-0.0018	0.0055	-0.3333	0.7389
Rho (rezago espacial)	-0.6001	0.0872	-6.8825	5.882E-12
Lambda (error espacial)	0.9563	0.0194	49.2010	<2.2e-16
Varianza residual del ML sigma cuadrado	0.2611			
Criterio de información de Akaike	2380.1			
Log likelihood	-1180.055			
N	1552			

MODELO 4. Estimaciones de regresiones basadas en ecuación [3] y base de datos 1997-99
A. Mínimos cuadrados ordinarios

Variable	Modelo 3. 1997-1999			
	Coefficiente	Error Std.	Estadístico t	(Pr(> t))
Intercepto	7.0980	0.3160	22.4620	<2e-16***
Razón Valor de construcción / Valor de suelo	-0.0001	0.0058	-0.014	0.9886
Área de parcela	-0.2761	0.0256	-10.806	<2e-16***
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.1688	0.0709	-2.381	0.01779*
Tiempo de viaje a San José - flujo libre (min.)	-0.1354	0.0370	-3.657	0.0003***
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre (min)	-0.1218	0.0437	-2.785	0.0056**
Pendiente	0.0113	0.0102	1.109	0.2681
Error estándar de residuales 370 grados de libertad	0.3943			
R2	0.5420			
R2 ajustado	0.5346			
Estadístico f (probabilidad) 6 y 1545 grados de libertad	72.97 (<2.2e-16)			
Prueba de Breusch-Pagan de heteroscedasticidad (probabilidad). 6 grados de libertad	4.97 (0.5477)			
N	377			

1/ Corrección de heteroscedasticidad

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

B. Pruebas de dependencia espacial
I de Moran

	I de Moran			Estadístico Z	Prob.
	Estimado	Esperado	Varianza		
Variable dependiente	2.76E-01	-2.66E-03	1.46E-04	23.0298	< 2.2e-16
Residuos de regresión lineal	3.20E-03	-6.37E-03	1.31E-04	0.8353	0.2018

Multiplicadores de Lagrange

	LM	Grados de libertad	Prob.
Rezago espacial	0.0635	1	0.801
Error espacial	0.727	1	3.94E-01
Rezago espacial error	0.7827	1	0.3763
Error espacial rezago	0.1192	1	7.30E-01
Proceso SARMA	0.8462	2	0.655

MODELO 5. Estimaciones de regresiones basadas en ecuación [8] y base de datos 1997-1999/2007

A. Mínimos cuadrados ordinarios

Variable	Modelo 5. 1997-1999 y 2007. Restringido			
	Coefficiente	Error Std.	Estadístico t	(Pr(> t))
Intercepto	5.2367	0.1699	30.819	<2e-16***
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.6210	0.0732	-8.48	<2e-16***
Tiempo de viaje a San José - flujo libre (min.)	-0.1751	0.0303	-5.775	8.95e-09***
T (año 2007 = 1)	0.5222	0.0408	12.794	<2e-16***
T x Límite de crecimiento urbano	3.6185	0.5011	7.222	7.37e-13***
T x Límite de crecimiento urbano x Tiempo de viaje a San José	-0.6000	0.0798	-7.515	8.64e-14***
Error estándar de residuales 1923 grados de libertad	0.6048			
R2	0.3456			
R2 ajustado	0.3439			
Estadístico f (probabilidad) 5 y 1923 grados de libertad	203.1 (< 2.2e-16)			
Prueba de Breusch-Pagan de heteroscedasticidad (probabilidad). 6 grados de libertad	2.5243 (0.7728)			
N	1929			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

B. Pruebas de dependencia espacial

I de Moran

	I de Moran			Estadístico Z	Prob.
	Estimado	Esperado	Varianza		
Variable dependiente	2.38E-01	-5.19E-04	1.75E-05	56.941	< 2.2e-16
Residuos de regresión lineal	3.25E-02	-1.20E-03	1.70E-05	8.181	< 2.2e-16

Multiplicadores de Lagrange

	LM	Grados de libertad	Prob.
Rezago espacial	57.6527	1	3.13E-14
Error espacial	93.7874	1	< 2.2e-16
Rezago espacial error	38.7069	1	4.93E-10
Error espacial rezago	2.5722	1	0.1088
Proceso SARMA	96.3597	2	< 2.2e-16

C. Rezago espacial (resultado sesgado)

Variable	Modelo 5. ML con dependencia espacial Sesgado			
	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)
Intercepto	2.4875	0.3579	6.9501	3.65E-12
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.3548	0.0771	-4.6013	4.20E-06
Tiempo de viaje a San José - flujo libre	-0.1302	0.0305	-4.2678	1.97E-05
T (año 2007 = 1)	0.5155	0.0400	12.8950	<2.2e-16
T x Límite de crecimiento urbano	2.0788	0.5057	4.1107	3.95E-05
T x Límite de crecimiento urbano x Tiempo de viaje a San José	-0.3495	0.0806	-4.3363	1.45E-05
Rho (rezago espacial)	0.5388	0.6032	8.9319	<2.2e-16
Varianza residual del ML sigma cuadrado	0.3509			
Criterio de información de Akaike	3477.1			
Estadístico de Wald (probabilidad)	79.778 (<2.2e-16)			
Log likelihood	-1730.5700			
N	1929			
Estadístico LM de autocorrelación espacial de residuos (probabilidad)	23.921 (1.0038e-06)			

D. Modelo con rezago espacial y error espacial (tipo SAC)

Variable	Modelo 5. ML con dependencia espacial			
	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)
Intercepto	12.1950	0.6542	18.6402	1.50E-06
Límite de crecimiento urbano (fuera = 1)	-0.0121	0.0033	-3.7097	0.0020
Tiempo de viaje a San José - flujo libre	-0.3419	0.0133	-25.7267	1.22E-04
T (año 2007 = 1)	-0.1275	0.0559	-2.2796	<2.2e-16
T x Límite de crecimiento urbano				1.59E-04
T x Límite de crecimiento urbano x Tiempo de viaje a San José	-0.3128	0.0454	-6.8945	4.20E-05
Rho (rezago espacial)	0.7699	0.0412	18.6710	<2.2e-16
Lambda (error espacial)	-0.4872	0.1118	4.3594	1.30E-05
Varianza residual del ML sigma cuadrado	0.3448			
Criterio de información de Akaike	3461.1			
Log likelihood	-1721.5310			
N	1929			

MODELOS LOGIT. Significancia de coeficientes de modelos que definen *propensity score*

	Modelo 1 1987-2008		Modelo 2 1997-1999 y 2007		Modelo 3 2007		Modelo 4 1997-1999	
Intercepto	-53.2728	-34.56 <0.000 1	-50.0937	-18.668 <0.0001	-49.9405	-17.008 <0.0001	-54.4053	-7.526 <0.0001
Valor de construcción / valor del suelo	-0.0477	-3.678 0.0002	-0.0193	-0.821 0.4115	-0.0109	-0.433 0.6652	-0.0755	-1.131 0.2580
Área de parcela	0.3394	6.752 <0.0001	0.2886	3.023 0.0025	0.2394	2.235 0.0254	0.45352	2.088 0.0368
Tiempo de viaje a San José - flujo libre	2.0204	17.639 <0.0001	2.1678	10.117 <0.0001	2.2558	9.287 <0.0001	1.81415	3.63 0.0003
Tiempo de viaje a Heredia - flujo libre	6.8294	32.09 <0.0001	6.1925	16.379 <0.0001	6.0743	14.637 <0.0001	7.11719	7.003 <0.0001
Porcentaje de pendiente	-0.1128	-5.526 <0.0001	-0.0955	-2.631 <0.0001	-0.0914	-2.263 0.0236	-0.10792	-1.261 0.2073
Variable categórica: año 2007 = 1	-0.2862	-1.285 0.1987	-0.3165	-1.282 0.1998				
Variable categórica: año 2006 = 1	-0.4419	-1.795 0.0727						
Variable categórica: año 2005 = 1	-0.0638	-0.26 0.7952						
Variable categórica: año 2004 = 1	0.0963	0.41 0.6817						
Variable categórica: año 2003 = 1	-0.7254	-2.386 0.0171						
Variable categórica: año 2002 = 1	-0.0491	-0.164 0.8699						
Variable categórica: año 2001 = 1	0.1645	0.607 0.5437						
Variable categórica: año 2000 = 1	-0.3009	-0.832 0.4051						
Variable categórica: año 1999 = 1	0.1744	0.412 0.6806						
Variable categórica: año 1998 = 1	-0.1952	-0.502 0.6157						
Variable categórica: año 1997 = 1	0.4502	0.841 0.4003						
Variable categórica: año 1996 = 1	1.3549	1.751 0.0799						
Variable categórica: año 1995 = 1	-11.5112	-0.025 0.9801						
Variable categórica: año 1994 = 1	-1.0027	-0.601 0.5475						
Variable categórica: año 1993 = 1	-11.9073	-0.021 0.9835						
Variable categórica: año 1992 = 1	-13.8417	-0.024 0.9806						

	Modelo 1 1987-2008	Modelo 2 1997-1999 y 2007	Modelo 3 2007	Modelo 4 1997-1999
Variable categórica: año 1991 = 1	-11.6840 -0.005 0.9961			
Variable categórica: año 1988 = 1	-7.0533 -0.003 0.9977			
Variable categórica: año 1987 = 1	11.8732 0.005 0.9961			

En gris: coeficientes no significativos al 90% de confianza

VALOR PROMEDIO DEL SUELO POR AÑO en la base de datos

Año	Promedio	Desviación estándar	Cantidad de registros
1987	189.45	-	1
1988	57.56	-	1
1991	31.83	-	1
1992	36.82	5.66	10
1993	40.85	3.40	11
1994	46.50	23.92	14
1995	70.37	15.85	16
1996	53.99	20.46	37
1997	62.86	27.54	74
1998	73.38	48.93	207
1999	65.61	29.80	96
2000	73.88	36.10	294
2001	86.49	33.77	483
2002	82.68	44.62	396
2003	97.78	60.18	472
2004	86.80	43.91	1153
2005	97.21	69.17	1063
2006	102.69	93.50	996
2007	116.44	116.24	1552
2008	125.65	82.09	558
Total	98.17	79.32	7435

Sección 9. Reflexiones finales

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el impacto de la regulación, y en particular del límite de crecimiento urbano, sobre los valores del suelo. Pero la variable "renta del suelo", debido a su carácter sintetizador de complejas dinámicas urbanas, ha permitido una reflexión más amplia sobre el impacto de este instrumento regulatorio en una zona particularmente dinámica de la región metropolitana.

Del análisis de los valores del suelo, es muy claro que el límite de crecimiento urbano introduce un diferencial: como predice la teoría, los valores del suelo son menores más allá del límite de crecimiento que dentro de él. Pero los patrones de uso del suelo y sobre todo su evolución en el tiempo también muestran cambios importantes más allá del límite de crecimiento – sobre todo, cambio de uso del suelo de rural a urbano. Esta aparente contradicción es perfectamente consistente con la teoría de localización de actividades urbanas. La debilidad de la regulación regional, en lo referente al límite de crecimiento urbano, significa que este no actúa como el final de la ciudad sino como una zonificación en dos niveles. Dentro del límite de crecimiento, se permite un uso urbano más intenso que fuera de él⁴⁷. Como consecuencia, una vez controlados los efectos de la accesibilidad a localizaciones centrales, aún existe un diferencial: este es producto de que el mayor y mejor uso (en ausencia de la regulación) no puede ubicarse en las localizaciones más accesibles. Pero el diferencial no es un cambio hacia una renta prácticamente constante (la rentabilidad de la producción agropecuaria), como predice la teoría, sino un cambio en el gradiente de precios – la relación entre renta del suelo y accesibilidad. El gradiente pasa de mostrar la disponibilidad a pagar del *mayor y mejor uso posible* a reflejar la disponibilidad a pagar del *mayor y mejor uso permitido por la regulación*.

La justificación original del plan regional, contenida en el Reglamento 3332 - A de 1982, tiene una clara lógica de orientar el desarrollo urbano a las zonas más apropiadas para ello (desde el punto de vista objetivo del planificador, es decir, las áreas donde existe infraestructura o donde ya existen desarrollos urbanos). Dentro de esta lógica, se prohíbe la urbanización en áreas donde la transformación del uso a urbano impactaría otras zonas que sí son apropiadas para la ciudad, directamente (e.g. produciendo escorrentía superficial e inundaciones, reduciendo la recarga de acuíferos valiosos, contaminando fuentes de agua) o a través de servicios ambientales o económicos recibidos por la ciudad (paisaje, producción agropecuaria, recreación). El plan regional de 1982 y su concepción general reflejan las prácticas de planificación de su época⁴⁸: decisiones técnicas sin consulta a las comunidades u otros actores no institucionales de la región, una lógica desde la teoría de la planificación y no necesariamente desde las realidades del territorio, y en general una visión limitada sobre el futuro de la región. Esta concepción desde la teoría tuvo sus virtudes – en particular, la necesidad de proteger parajes rústicos, que entonces probablemente nunca hubiera sido articulada. Pero también resultó en contradicciones importantes.

⁴⁷ Más allá del límite, está prohibida la construcción de urbanizaciones pero se pueden construir viviendas en lotes de 7000 m² o más, en teoría para uso del dueño de una finca agropecuaria pero en la práctica, como vivienda para personas típicamente de altos ingresos.

⁴⁸ Estrictamente, muchos de estos problemas habían sido ya o estaban en proceso de ser superados en la práctica de la planificación en Estados Unidos y Europa. Los cuerpos técnicos de la Dirección de Urbanismo estaban compuestos por Arquitectos y Geógrafos, con conocimiento empírico-subsidiario de sus respectivas profesiones, de la planificación urbana y regional propiamente. Esto explica parcialmente porque fue más lenta la evolución conceptual de las regulaciones territoriales costarricenses.

Más allá de los problemas de diseño, la constante manipulación política del límite de crecimiento introdujo incertidumbre y un debilitamiento grave de la regulación regional. En el momento de su creación (1982), el plan regional de la Gran Área Metropolitana se concibió dentro de la institucionalidad sectorialmente descentralizada de la Segunda República. Bajo este esquema, el actor público principal sería el INVU, con autonomía técnica y financiera para administrar la regulación técnicamente definida. La realidad es que el INVU, en la práctica, fue neutralizado durante la siguiente década. Como consecuencia, la aplicación de la regulación fue pobre en todos los niveles de la administración pública, la capacidad de manipulación de desarrolladores y políticos causó graves problemas, y muchos de los supuestos del plan regional nunca se cumplieron (e.g. que las municipalidades desarrollarían sus propios planes reguladores, ajustados a lineamientos regionales, y asumirían el proceso de regulación a nivel local). En suma, la implementación de la regulación fue muy desigual y el impacto de esta incertidumbre fue un debilitamiento del instrumento principal (el límite de crecimiento urbano) cuando este contradecía los intereses económicos de desarrolladores y propietarios de la tierra.

Por otra parte, el crecimiento urbano en la zona de estudio no es extraño a las dinámicas regionales. Las tendencias de desarrollo urbano en Heredia responden más rápidamente que otras subregiones a las realidades urbanas de San José porque está más cerca. Pero en general, el debilitamiento de los núcleos tradicionales de población y la urbanización horizontal en los bordes de las ciudades de la Gran Área Metropolitana son tendencias de larga data. Simplemente, se han intensificado durante las últimas dos décadas con el crecimiento de ingresos y población.

El estudio ha permitido una reflexión general sobre las políticas regionales de restricción al crecimiento urbano y sus impactos específicos sobre la renta del suelo. Pero también ha permitido plantear preguntas clave para la definición de políticas que deben explorarse. En particular, sería muy valioso reflexionar más profundamente sobre:

- **La protección del acuífero Colima.** El límite de contención fue definido en 1982, cinco años antes de que se generara el mapa hidrogeológico de la GAM. Tal vez por ello, dos tercios del área del acuífero Colima Superior están dentro de la zona urbanizable – y de hecho, desde entonces, han sido urbanizados. El trazado del límite de crecimiento protege la recarga (al restringir la urbanización de las zonas más altas del acuífero). Pero en una formación con rocas tan fragmentadas como el acuífero Colima Superior, la recarga es una dimensión menos crítica.

La principal amenaza del acuífero es la contaminación por infiltración de aguas que no están limpias, tanto a través de infiltración como las que le aporta al acuífero Colima el río Virilla (véase Agüero, 2000). Esta amenaza es particularmente grave porque, como afirma Agüero (2000:124), “los tiempos de residencia del agua en la zona no saturada son altos, [por lo cual] los efectos de los eventos contaminantes se pueden apreciar en años o décadas.”

Estudios anteriores han ligado el exceso de abonos con concentraciones peligrosas de contaminantes en nacientes cuya agua se alimenta del acuífero. La urbanización de amplios espacios de este acuífero, sobre todo al sur de Heredia, sin un sistema de tratamiento de aguas servidas apropiado (y específicamente en ausencia de un alcantarillado sanitario) sin duda es un grave problema que la planificación regional de 1982 no resolvió apropiadamente. El plan regional utilizó la herramienta equivocada (el límite de crecimiento) para proteger los recursos hidrogeológicos de la zona de estudio (y de la GAM) – en parte, porque no existía suficiente información hidrogeológica suficiente.

La mitigación de los problemas de contaminación para los usos urbanos existentes pasa por la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de los

desechos líquidos. En este sentido, la creación de residencias dispersas en la zona alta del área de estudio es un grave problema. Si se permitieran, la regulación local debe exigir sistemas de tratamiento para cada una de ellas (o grupo de viviendas), pagado por sus desarrolladores. El uso de tanques sépticos debe ser analizado con mayor detalle, pues es posible que las relativamente grandes áreas libres, propias de este estilo de desarrollo, no basten para garantizar el apropiado tratamiento de las aguas servidas, dada la permeabilidad de los acuíferos.

- **Los usos residenciales en baja densidad.** ¿Cuán problemáticos son, más allá del límite de crecimiento? Desde el punto de vista de impermeabilización (reducción de recarga) y contaminación de acuíferos por aguas servidas tratadas con tanques sépticos, el porcentaje de cobertura máxima del 10% y el área mínima de 7000 m² deberían implicar impactos muy reducidos – aunque, como se dijo, debe analizarse el funcionamiento de tanques sépticos con mayor profundidad; y además, es clave garantizar el cumplimiento de los porcentajes de cobertura de la regulación no solo al momento de la construcción sino también más adelante. Es de suma importancia recordar que las disposiciones del plan regional son sustituidas por regulaciones municipales al momento de aprobarse el correspondiente plan regulador. Algunas municipalidades han relajado las restricciones del plan regional, lo cual hipotéticamente podría agravar mucho los problemas de contaminación que son mitigados por lotes grandes. En cuanto a segregación social, probablemente sigan la dinámica costarricense de instalar hogares de altos ingresos cerca de (aunque sin estar apropiadamente integrados con) las poblaciones pre-existentes – lo cual implica la necesidad de políticas urbanas de cesión de espacios a la colectividad e integración con el entorno pero no necesariamente una prohibición directa (o una tolerancia mínima, como actualmente ocurre). Finalmente, la provisión de servicios públicos y la modificación de los patrones de demanda de transporte sí tienen el potencial de provocar impactos sistémicos. ¿Cuál es la visión de los pobladores sobre su futuro, particular y colectivo? ¿Cómo encaja la dinámica inmobiliaria en esta visión? ¿Qué políticas pueden aprovechar la llegada de estos nuevos habitantes para mejorar la comunidad en su conjunto?

Nótese que permitir usos urbanos en esta interfase agropecuario-urbana es una decisión básicamente irrevocable. Los espacios abiertos en la periferia de las ciudades no solo aportan al funcionamiento de sistemas naturales (e.g. acuíferos, ecosistemas riparios, captura de carbono, paisajes de alta calidad visual) sino que también tienen el potencial de convertirse en usos colectivos importantes para la sociedad urbana – por ejemplo, grandes parques regionales. Estas oportunidades se pierden si los procesos de urbanización no reservan tierras para este tipo de usos. Además, se ha comprobado que el espacio no urbanizado en las regiones urbanas tiene características de bien público: en ausencia de regulación, las áreas que se mantienen como no urbanas tienden a ser más pequeñas que las necesidades por los servicios que proveen (Brander y Koetse, 2011, realizan una interesante discusión sobre los beneficios de estos espacios abiertos). Luego, cualquier cambio radical en la naturaleza de las restricciones a la urbanización más allá del límite de crecimiento debe ser el resultado de procesos de consulta amplios, y debe como mínimo prever reservas de tierra así como las necesidades de los sistemas ambientales principales de la zona.

- **Cultivos en la zona de estudio.** El plan regional supone implícitamente que usos urbanos son más impactantes, ambientalmente, que usos agropecuarios. Los análisis de contaminación de aguas subterráneas existentes fuertemente cuestionan este supuesto. En un contexto en que existen fuertes presiones financieras para permitir la urbanización de zonas agrícolas, deben realizarse evaluaciones acertadas conceptualmente y verificadas empíricamente de: los impactos ambientales de distintas actividades (usos

urbanos y rurales, en particular ciertas prácticas agropecuarias) sobre distintos sistemas naturales de la zona de estudio – enfatizando especialmente los acuíferos Colima Superior y Barva, y los costos y beneficios públicos y privados de cada actividad. Con base en un análisis comparativo, debe reflexionarse sobre cuáles usos son más convenientes en cuáles sectores del área de estudio, en el marco específico de los cantones y distritos que lo componen pero también en el marco general de toda la región. Es muy importante preguntarse, abandonando antes preconcepciones cómodas, si realmente proteger al cultivo de café de usos urbanos poco densos es una estrategia óptima; si no lo fuera, cuáles opciones de usos existen para los propietarios de tierras que reduzcan sus impactos sobre la sociedad y el medio, y cuáles intervenciones públicas mejor potencian estos usos del territorio. ¿Debe promoverse el cambio hacia cultivos más rentables? ¿O a prácticas agropecuarias menos contaminantes con subsidios? ¿Permitir selectivamente la urbanización aumenta o reduce los problemas? ¿Cuánto del aumento del valor del suelo debe corresponder a la colectividad si se permite urbanizar parte del suelo más allá del límite de crecimiento? Y en caso de que se permitiera urbanizar, bajo un esquema de fuertes impuestos al valor del suelo y a la plusvalía, ¿podrían asociarse, por lo menos parcialmente, estas rentas a mantener una producción agrícola “verde” en el resto de la zona de estudio?

- **Tecnologías constructivas y la ciudad desde una perspectiva sistémica.**

Ciertamente, el crecimiento urbano más allá del límite es objetivamente innecesario para satisfacer la demanda de área por usos urbanos de la región. Pero la ausencia de una densificación de espacios más apropiados para usos urbanos, sumada al crecimiento poblacional y el deseo del costarricense en general de no vivir muy lejos de su familia extendida, resultan en una fuerte presión por urbanizar muchas de estas áreas. Una política de creación de desarrollos urbanos residenciales densos en localizaciones centrales podría contribuir a reducir esta presión (no existe evidencia de que el mercado vaya a generar este tipo de dinámica a mediano plazo, por lo cual su implementación requeriría de una fuerte intervención estatal); uno de los impactos esperables de relajar las restricciones al desarrollo urbano más allá del límite de crecimiento es, precisamente, la menor viabilidad financiera de desarrollos densos en las zonas más centrales. Por otra parte, obligar a desarrollos urbanos en la zona de estudio a crear sistemas de tratamiento de aguas servidas apropiados y sistemas artificiales para infiltrar agua llovida puede reducir el impacto de ellos aguas abajo. Es importante subrayar que *estas acciones son necesarias tanto dentro como fuera del límite de crecimiento urbano actualmente definido* – por la ubicación del acuífero Colima y del río Virilla, cuyas aguas contribuyen a recargar este acuífero.

- **Accesibilidad y valores del suelo.** Aunque este tema apenas fue esbozado más allá del uso del tiempo de viaje como determinante del valor del suelo, es de suma importancia para el desarrollo urbano de la zona de estudio. La atracción de hogares con relativamente altos ingresos, por ejemplo en San Rafael y San Isidro, así como San Francisco de Heredia (entre otros) implican una motorización creciente. Esto, sumado a limitadas conexiones viales con San José y la ausencia de un sistema masivo eficiente para el transporte de personas, tanto en la subregión como entre ella y San José, causan una congestión en constante aumento – agravada porque tampoco se han realizado inversiones para mitigar los problemas creados por cuellos de botella en la red vial (puentes angostos e insuficientes; véase Delgado, 2002). La eventual creación de dicho sistema de transporte masivo – a lo largo de los ejes viales principales existentes o planeados y/o las líneas de ferrocarril – abre oportunidades muy interesantes por la plusvalía que crea y porque el cambio en los patrones de valores del suelo debería, con una apropiada intervención en las dinámicas del mercado, promover una intensificación del uso del suelo cerca del dicho sistema. Es necesario insistir en que dicho esquema de

densificación/aumento de accesibilidad solo es posible si se crea también un alcantarillado sanitario. Debería analizarse la posibilidad de ligar financieramente las inversiones públicas en el área urbana al sur de la zona de estudio, tanto de transporte público como de alcantarillado sanitario, con esquemas de recuperación de plusvalías.

Los resultados obtenidos, incluidas bases de datos, marco conceptual y técnicas analíticas, abren nuevas oportunidades de investigación. Queda pendiente determinar los efectos de cambios en los costos de transporte sobre el gradiente de precios, evaluar los potenciales impactos de sistemas masivos de transporte y los efectos de diferenciales socioeconómicos sobre el valor del suelo. Igualmente, deben investigarse otras variables dependientes (e.g. evolución del área urbana). Es importante también considerar los análisis desde una perspectiva de agentes concretos: las decisiones, dilemas y presiones que enfrentan los propietarios de la tierra y habitantes de la zona de estudio, los desarrolladores inmobiliarios y los agentes reguladores. El uso de técnicas de beneficio/costo podría resultar en interesantes en este contexto.

Es también importante resaltar el uso de experimentos naturales en la evaluación de políticas públicas espaciales, tanto en el contexto metodológico de regresiones como de técnicas no paramétricas. Pueden utilizarse las técnicas aplicadas y modelos desarrollados a otros contextos territoriales, para evaluar dinámicas ambientales, sociales y económicas. En muchas áreas, es urgente la introducción de conocimiento objetivo a debates a menudo cargados de tensión psicológica y social pero carentes de información y conocimiento de calidad (e.g. desarrollos inmobiliarios y agropecuarios cerca de áreas de conservación, manejo de recursos hídricos, impactos sobre ecosistemas).

Este trabajo ha logrado probar concluyentemente la hipótesis general, a saber, que los valores del suelo más allá del límite de crecimiento urbano regional en la zona de estudio son menores que dentro de ese límite. El efecto, que coincide con la teoría de localización de actividades urbanas y con otros muchos casos previamente estudiados en la literatura internacional sobre el tema, fue explicado mediante un cambio en el gradiente de precios. Es inusual que un resultado tan concluyente haya terminado por abrir más preguntas que brindar respuestas. Posiblemente, esto refleje una importante debilidad de la sociedad costarricense, su capacidad de indefinición. La experiencia del límite de crecimiento, con una tensión no resuelta entre distintos actores, es un claro ejemplo en que la incertidumbre sobre las disposiciones que desvirtúa sus principales disposiciones. Pero aún en este sentido, el aporte de la investigación puede ir más allá de sus resultados específicos. Pues al medir efectos concretos, demuestra que las decisiones ambiguas no son menos decisiones que las definiciones claras, y sus impactos no son menos importantes.



Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Sección 10. Referencias bibliográficas

- ABT Associates Inc, CONCESA S.A., CATIE, Fundación Neotrópica. 1998. Programa de Manejo de la cuenca del río Grande de Tárcoles. San José
- Agüero, J. 2000. *Análisis de la vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica*. Trabajo final de graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Universidad de Costa Rica
- Alfaro, L.C. y D. Alfaro. 1994. La estructura del mercado de la tierra y de la vivienda según la clase y tipo de oferta. Heredia 1965-1994. *Revista Geográfica de América Central*, 30, 101-124
- Alfaro, S. y D. Navarro. 2009. *Estudio de la formación del valor del suelo mediante herramientas geoestadísticas y modelación econométrica para el caso de Curridabat. 1998-2007*. Trabajo final de graduación, Licenciatura en Economía. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica
- Alfheldt, G.M. y W. Maennig. 2009. Arenas, arena architecture and the impact on location desirability: the case of 'Olympic Arenas' in Prenzlauer Berg, Berlin. *Urban Studies*, 46(7), pp. 1343-1362
- Alonso, W. 1964. *Location and Land Use*. Cambridge (MA), Harvard University Press
- Alpízar, M. 1994. *Evaluación del crecimiento residencial en el Gran Área Metropolitana Período 1984-1992*. Trabajo final de graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Universidad de Costa Rica
- Anas, A. 1982. *Residential Location Markets and Urban Transportation: Economic Theory, Econometrics and Policy Analysis with Discrete Choice Models*. Nueva York: Academic Press
- Anselin, L. y A.K. Bera. 1998. Spatial Dependence in Linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics, en A. Ullah y D.E.A. Gilles (ed.) *Handbook of Applied Economic Statistics*. Marcell Dekker Inc., Nueva York
- Anselin, L., A.K. Bera, R. Florax y M.J. Yoon. 1996. Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 26(1), 77-104
- Arnott, R.J. y J.G. MacKinnon. 1977. Measuring the costs of height restrictions with a general equilibrium model. *Regional Science and Urban Economics*, 7(4), pp. 359-375
- Aura, S. y T. Davidoff. 2008. Supply constraints and housing prices. *Economics Letters*, 99(2), pp. 275-277
- Ashenfelter, O. y D. Card. 1985. Using the Longitudinal Structure of Earnings to Estimate the Effect of Training Programs. *Review of Economics and Statistics*, 67(4), pp. 648-660
- Bartik, T.J. 1987. The Estimation of Demand Parameters in Hedonic Price Models. *Journal of Political Economy*, 95(1), pp. 81-88
- Bertaud, A. y J.K. Brueckner. 2005. Analyzing building-height restrictions: predicted impacts and welfare costs. *Regional Science and Urban Economics*, 35(2), pp. 109-125
- BGS/SENARA. 1988. *The continuation of hydrogeological investigations in the north and east of the Valle Central, Costa Rica. Final Report 1984-1987*. Technical Report WD/88/13R. San José: British Geological Survey
- Biderman, C. 2008. *Informality in Brazil: Does Urban Land Use and Building Regulation Matter?* Working Paper WP08CB1. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy
- Biderman, C. 2001. *Forças de Atração e Expulsão na Grande São Paulo*. Disertación doctoral. São Paulo, EAESP/FGV
- Bivand, R. y contribuciones de M. Altman, L. Anselin, R. Assunção, O. Berke, A. Bernat, G. Blanchet, E. Blankmeyer, M. Carvalho, B. Christensen, Y. Chun, C. Dormann, S. Dray, R. Halbersma, E. Krainski, P. Legendre, N. Lewin-Koh, H. Li, J. Ma, G. Millo, W. Mueller, H. Ono, P. Peres-Neto, G. Piras, M. Reder, M. Tiefelsdorf y D. Yu. 2011. *spdep: Spatial*

- dependence: weighting schemes, statistics and models*. R package version 0.5-32.
<http://CRAN.R-project.org/package=spdep>
- Braimoh, A.K. y T. Onishi. 2007. Spatial determinants of urban land use change in Lagos, Nigeria. *Land Use Policy*, 24(2), pp. 502-515
- Brander, L.M. y M.J. Koetse. 2011. The value of urban open space: Meta-analyses of contingent valuation and hedonic price results. *Journal of Environmental Management*, 92(10), pp. 2763-2773
- Brozovic, N. y S. Islam. 2010. Estimating the Value of Groundwater in Irrigation. Presentado en la AAEA, CAES and WAEA Joint Annual Meeting, Denver, CO, 25 a 27 de julio
- Brueckner, J.K. 2009. Government Land Use Intervention: An Economic Analysis, en S.V. Lall, M. Freire, B. Yuen, R. Rajack y J.J. Helluin (ed.) *Urban Land Markets. Improving Land Management for Successful Urbanization*. Heidelberg, Springer, pp. 3-23
- Brueckner, J.K. 1987. The structure of urban equilibria: a unified treatment of the Muth–Mills model, en E.S. Mills (Ed.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, vol. 2. Amsterdam, North-Holland, pp. 821-845
- Castro, L., J.C. Pereira, R. Castro e I. Moya. 2007. *Estudio de oferta y demanda de transportes de la GAM*. ESP-A12110-06. San José: LCR Logística y Proyecto PRUGAM
- Cervero, R. 2003. Road Expansion, Urban Growth, and Induced Travel: A Path Analysis. *J Am Plann Assoc*, 69(2), 145-163
- Chamblee, J.F., C.A. Dehring y C.A. Depken. 2009. Watershed development restrictions and land prices: Empirical evidence from southern Appalachia. *Regional Science and Urban Economics*, 39(3), pp. 287-296
- Cho, S-H., N. Poudyal y D.M. Lambert. 2008. Estimating spatially varying effects of urban growth boundaries on land development and land value. *Land Use Policy*, 25(3), pp. 320-329
- CINPE. 2009. *Estudio Económico del Gran Área Metropolitana*. Informe final de la consultoría de análisis de economía. Heredia, el Centro y Proyecto PRUGAM
- Chomitz, K.M. y D.A. Gray. 1996. Roads, Land Use, and Deforestation: A Spatial Model Applied to Belize. *The World Bank Economic Review*, 10(3), pp. 487-512
- Cochran, W.G. y D.B. Rubin. 1973. Controlling Bias in Observational Studies: A Review. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics Series A*, 35(4), Número en memoria de P. C. Mahalanobis, pp. 417-446
- Colwell, P.F. y G. Dilmore. 1999. Who Was First? An Examination of an Early Hedonic Study. *Land Economics*, 75(4), pp. 620-626
- Contraloría General de la República. 2010. *Análisis y opinión sobre la gestión de los gobiernos locales en el período 2009*. San José, la Contraloría
- Delgado, J.A. 2002. *Interacción entre patrones de crecimiento del uso del suelo y sistema de transporte en el sector sureste de Heredia*. Trabajo final de graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Universidad de Costa Rica
- Ellison, G. y E.L. Glaeser. 1997. Geographic Concentration in U.S. Manufacturing Industries: A Dartboard Approach. *Journal of Political Economy*, 105(5), 889-927
- Feler, L. y J.V. Henderson. 2011. Exclusionary policies in urban development: Under-servicing migrant households in Brazilian cities. *Journal of Urban Economics*, 69(3), pp. 253–272
- Fischel, W.A. 2001. Municipal Corporations, Homeowners and the Benefit View of the Property Tax, en W.E. Oates (Ed.), *Property Taxation and Local Government Finance*. Cambridge, MA, Lincoln Institute of Land Policy, pp. 33-77
- Fox, J. y S. Weisberg. 2011. *An {R} Companion to Applied Regression* (2nda edición). Sage, Thousand Oaks, CA. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Glaeser, E.L. y B.A. Ward. 2009. The causes and consequences of land use regulation: Evidence from Greater Boston. *Journal of Urban Economics*, 65(3), pp. 265-278

- Glaeser, E.L. 2008. *Cities, Agglomeration and Spatial Equilibrium*. Oxford: Oxford University Press
- Glaeser, E.L., J. Gyourko, R. Saks. 2005a. Why Is Manhattan So Expensive? Regulation and the Rise in Housing Prices. *Journal of Law and Economics*, 48(2), pp. 331-369
- Glaeser, E.L., J. Gyourko, R. Saks. 2005b. Why Have Housing Prices Gone Up? *American Economic Review*, 95(2), pp. 329-333
- Glaeser, E.L. y J. Gyourko. 2003. The impact of building restrictions on housing affordability. *FRBNY Economic Policy Review*, 9(2), 21-39
- González, A. 1994. *Estudio del uso del suelo en la Gran Área Metropolitana: con énfasis en el centro de San José*. Trabajo final de graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Universidad de Costa Rica
- Grout, C.A., W.K. Jaeger y A.J. Plantinga. 2011. Land-use regulations and property values in Portland, Oregon: A regression discontinuity approach. *Regional Science and Urban Economics*, 41(2), pp. 98-107
- Guimarães, P., O. Figueiredo y D. Woodward. 2009. Dartboard tests for the location quotient. *Regional Science and Urban Economics*, 39(3), 360-364
- Hall, C. 1976. *El café y el desarrollo histórico-geográfico de Costa Rica*. San José: Editorial Costa Rica y Universidad Nacional
- Hanushek, E. y K. Yilmaz. 2007. The complementarity of Tiebout and Alonso. *Journal of Housing Economics*, 16(3-4), 243-261
- Henderson, J.V. 2009. The Effect of Residential Land Market Regulation on Urban Welfare, en S.V. Lall, M. Freire, B. Yuen, R. Rajack y J.J. Helluin (ed.) *Urban Land Markets. Improving Land Management for Successful Urbanization*. Heidelberg, Springer, pp. 3-23
- Hu, Z. y C.P. Lo. 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6), 667-688
- Irwin, E.G. 2010. New directions for urban economic models of land use change: Incorporating spatial dynamics and heterogeneity. *Journal of Regional Science*, 50(1), pp. 65-91
- ICAFE. 2011. *Región cafetalera Valle Central*. Consulta: 15 de febrero de 2011. Disponible en línea: http://www.icafe.go.cr/nuestro_cafe/regiones_cafetaleras/valle_central.html
- Jacobsen, K. 2002. Mapping with IKONOS images. Presentado en el *EARSel Symposium*, Praga, junio
- Knaap, G.T. 1985. The Price Effects of Urban Growth Boundaries in Metropolitan Portland, Oregon. *Land Economics*, 61(1), pp. 26-35
- Lambin, E.F. 1994. *Modelling deforestation processes: a review*. TREE Series B, Research Report 1, EUR 15744 EN, Comisión Europea, 113 p.
- Liu, X. y L. Lynch. 2011. Do Agricultural Land Preservation Programs Reduce Farmland Loss? Evidence from a Propensity Score Matching Estimator. *Land Economics*, 87(2), pp. 183-201
- Losilla, M., H. Rodríguez, G. Schosinsky, J. Stimson y D. Bethune. 2001. *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica
- Lynch, L., W. Gray y J. Geoghegan. 2007. Are Farmland Preservation Program Easement Restrictions Capitalized into Farmland Prices? What Can a Propensity Score Matching Analysis Tell Us? *Review of Agricultural Economics*, 29(3), pp. 502-509
- Maciel, V.F. y C. Biderman. 2010. The Impact of Highway Construction on Land Prices: The Case of the São Paulo's Beltway ('Rodoanel'). Presentado en el *XXXVIII Encontro Nacional de Economia* de la ANPEC, 7 a 10 de diciembre, URL http://www.anpec.org.br/encontro_2010.htm#TRABALHOS
- Madrigal, J. 2004. Estratificación de hogares y segmentos por niveles de ingreso en el Censo 2000, en L. Rosero (ed.) *Costa Rica a la luz del Censo del 2000*. San José: Centro Centroamericano de Población, INEC
- McMillen, D.P. y J.F. McDonald. 2002. Land Values in a Newly Zoned City. *Review of Economics and Statistics*, 84(1), pp. 62-72

- Mills, E.S. 1983. Urbanización y valor de la tierra en países en desarrollo. *EURE*, 10(28), pp. 35-46
- Mills, E.S. 1967. An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. *American Economic Review*, 57(2), pp. 197-210
- Modifica Límite de Contención Urbana del Sector Moravia. Reglamento 3825 – 2. La Gaceta No 109. 9 de junio de 1987
- Moineddin, R., J. Beyene y E. Boyle. 2003. On the location quotient confidence interval. *Geographical Analysis*, 35(3), 249-256
- Monge, C.A. y A. Rojas. 2009. *Análisis geoespacial y modelación econométrica en el estudio de la formación del precio del suelo: el caso de los distritos Central y Gravilias del cantón de Desamparados 1997-2007*. Trabajo final de graduación, Licenciatura en Economía. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica
- Monge, C. 1986. *Efectos del proceso de urbanización sobre el recurso agua en la unidad geográfica Barva, Heredia, Costa Rica*. Trabajo final de graduación de Licenciatura en Geografía. San José, Universidad de Costa Rica
- Monzón, J.P. 1993. *Patrones de crecimiento del Gran Área Metropolitana. El caso de los proyectos de vivienda de interés social*. Trabajo final de graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Universidad de Costa Rica
- Mora, D.A., H. Chamizo y A. Mata. 2006. Estudio exploratorio sobre la incidencia del cáncer gástrico y los contenidos de nitrato en el agua potable en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 15(28), pp. 17-28
- Mora, J.R. 2003. *Análisis del crecimiento urbano de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Periodo 1983 al 2000*. Tesis de Maestría en Geografía. San José, Universidad de Costa Rica
- Mosaico de fotografías aéreas de Terra 1998* [Fotografía aérea tomada en 1998]. San José: CENIGA
- Müller, D. y M. Zeller. 2002. Land use dynamics in the central highlands of Vietnam: a spatial model combining village survey data with satellite imagery interpretation. *Agricultural Economics*, 27(3), pp. 333-354
- Muth, R.F. 1969. *Cities and housing*. Chicago, Chicago University Press
- Noland, R.B. y L.L. Lem. 2002. A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK. *Transportation Research Part D*, 7(1), pp. 1-26
- Núñez, P. y J.C. Salas. 2010. *La formación de precios del suelo: Caso de estudio del cantón de Escazú*. Trabajo final de graduación, Licenciatura en Economía. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica
- Organización Panamericana de la Salud. 1987. *Guías para la calidad del agua potable, Volumen 2: Criterios relativos a la salud y otra información de base*. Ginebra: OMS/OPS
- Ortúzar, J.D. y L. Willumsen. 2001. *Modelling transport* (3era ed.) Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons
- Perdomo-Calvo, J.A., C.A. Mendoza-Álvarez, J.C. Mendieta-López y A.F. Barquero-Ruiz. 2007. *Study of the Effect of the TransMilenio Mass Transit Project on the Value of Properties in Bogotá, Colombia*. Documento de trabajo WP07CA1. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA
- Pérez, E. 2010. Tendencias en los patrones de urbanización en la Gran Área Metropolitana, 2001-2008. Presentado en las *Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2010*, San José, Costa Rica, 17-20 de agosto
- Plan Regional de Desarrollo Urbano "Gran Área Metropolitana": Delimitación del área y reglamento de la primera etapa del Plan, ciudades del Valle Central de Costa Rica (ANEXO 1 del Plan). Reglamento 3332 – A. La Gaceta No 119. 22 de junio de 1982

- Polèse, M. 1998. *Economía urbana y regional. Introducción a la relación entre territorio y desarrollo*. Cartago, Libro Universitario Regional
- Programa Estado de la Nación. 2010. *Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Sostenible 2009*. San José: el Programa / CONARE / Defensoría de los Habitantes
- Protti, R. 1998. *Estudios hidrogeológicos en el área de la GAM*. San José: Geotécnica e Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- Pujol, R., L. Sánchez y E. Pérez. 2011. La segregación social como determinante del desarrollo urbano. Barrios cerrados y autosegregación en las ciudades de San José y Heredia, Costa Rica. *Revista de Ciencias Económicas*, por publicarse
- Pujol, R., E. Pérez y L. Sánchez. 2009. *Hacia un cambio en la oferta de vivienda en la GAM: una exploración desde los grandes desafíos planteados por la demanda potencial de vivienda de la región*. Ponencia preparada para el Decimoquinto Informe Estado de la Nación. San José, Programa Estado de la Nación y ProDUS-UCR
- Pujol, R., L. Zamora, E. Pérez, I. Castillo, L. Sánchez y el equipo de ProDUS. 2007. *Análisis y prospección del sistema urbano de la GAM*. Informe final de la consultoría de urbanismo y vivienda. San José, ProDUS y el Proyecto PRUGAM
- Pujol, R., E. Pérez e I. Castillo. 2006. *Diagnóstico comparativo de los planes reguladores vigentes y en proceso en la Gran Área Metropolitana (GAM)*. San José, ProDUS y el Proyecto PRUGAM
- Pujol, R., L. Zamora y J. Salas. 2004. *Diagnóstico Biofísico, para el Proyecto Adaptación del Sector Hídrico al Cambio Climático*. San José: ProDUS-UCR e Instituto Meteorológico Nacional
- Pujol, R. 1988. *Policy Instruments for Spatial Planning of the San Jose Greater Metropolitan Area*. Tesis de Maestría en Planificación Urbana y Regional. Berkeley, CA: Universidad de California-Berkeley
- Quickbird Image Sept. 8th 2008 [Imagen satelital adquirida en 2009]. Longmont, CO: DigitalGlobe
- R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Reforma del Plan Regional Desarrollo Urbano Gran Area Metropolitana INVU. Decreto Ejecutivo No 29415. La Gaceta No 75. 19 de abril de 2001
- Reforma Plan Regional de Desarrollo Urbano "Gran Area Metropolitana" (GAM), Ref. artículo 4° del ANEXO 1. Reglamento 12. La Gaceta No 185. 28 de septiembre de 1987
- Reforma Plan Regional de Desarrollo Urbano "Gran Area Metropolitana", Reforma art. 4 inc.3) del ANEXO 1. Reglamento 3912 – A. La Gaceta No 96. 19 de mayo de 1989
- Reforma al Plan Regional de Desarrollo Urbano "Gran Area Metropolitana" (GAM) y sus anexos. La Gaceta No 74. 20 de abril de 1983
- Reforma Plan Regional Desarrollo Urbano "Gran Area Metropolitana" GAM (ANEXOS 1 Y 2). Reglamento 3539 – 4. La Gaceta No 151. 10 de agosto de 1984
- Reforma Plan Regional Desarrollo Urbano "Gran Area Metropolitana" (GAM): ANEXO 1. Reglamento 4295. La Gaceta No 125. 2 de julio de 1993
- Reforma Plan Regional Desarrollo Urbano Gran Area Metropolitana. Decreto Ejecutivo No 25902. La Gaceta No 66. 7 de abril de 1997
- Reforma "Plan Regional de Desarrollo Urbano "Gran Area Metropolitana": Delimitación del área y reglamento de la primera etapa del Plan, ciudades del Valle Central de Costa Rica (ANEXO 1 del Plan)". Decreto Ejecutivo No 35748. La Gaceta No 35. 19 de febrero de 2010
- Reforma decreto que Reforma Plan Regional Desarrollo Urbano Gran Área Metropolitana. Decreto Ejecutivo No 33757. La Gaceta No 91. 14 de mayo de 2007
- Reglamento General de Desarrollo Urbano en los Cuadrantes Urbanos Habilitados por el Decreto Ejecutivo No 25902. La Gaceta No 244. 20 de diciembre de 2000

- Reglamento de Zonificación parcial de Áreas Industriales en La Gran Área Metropolitana. Reglamento 3623. La Gaceta No 114. 18 de junio 1985
- Reynolds-Vargas, J. y J. Fraile-Merino. 2009. Utilización de isótopos estables en la precipitación para determinar zonas de recarga del acuífero Barva, Costa Rica, en *Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 2006*. IAEA-TECDOC-1611. Viena: Organización Internacional de Energía Atómica
- Reynolds-Vargas, J., J. Fraile-Merino y R. Hirata. 2006. Trends in Nitrate Concentrations and Determination of its Origin Using Stable Isotopes (^{18}O and ^{15}N) in Groundwater of the Western Central Valley, Costa Rica. *Ambio*, 35(5), pp. 229-236
- Reynolds-Vargas, J. 2002. *Manejo integrado de Aguas Subterráneas: un reto para el futuro*. San José: EUNED
- Rodríguez, D.A. y C.H. Mojica. 2009. Capitalization of BRT network expansions effects into prices of non-expansion areas. *Transportation Research Part A*, 43(5), pp. 560-571
- Román, M. 2008. *Análisis del mercado inmobiliario-hipotecario de Costa Rica. Parte I*. Serie de Investigación y Análisis, No. 5, marzo de 2008. San José, Programa de Regularización de Catastro y Registro
- Rosen, S. 1974. Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *Journal of Political Economy*, 82(1), pp. 34-55
- Rosenbaum, P.R. y D.B. Rubin. 1983. The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects. *Biometrika*, 70(1), pp. 41-55
- Sabatini, F. 2000. Reforma de los mercados de suelo en Santiago, Chile: efectos sobre los precios de la tierra y la segregación residencial. *EURE*, 26(77), pp. 49-80
- Sánchez, L., D. Murillo y J.C. Arguedas. 2008. *Estudio de las subregiones de Costa Rica: Un análisis de competitividad, especialización y localización de las actividades económicas (1984-2000)*. Trabajo final de graduación de Licenciatura en Economía. San José, Universidad de Costa Rica
- Smolka, M.O. 1981. Precio de la tierra y valorización inmobiliaria urbana: esbozo para una conceptualización del problema. *Revista Interamericana de Planificación*, 15(60), pp. 70-89
- Souza, M.T. 2009. *The Effect of Land Use Regulation on Housing Price and Informality: a Model Applied to Curitiba, Brazil*. Working Paper WP09MS1. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy
- Stampf, S. 2011. *nonrandom: Stratification and matching by the propensity score*. R package version 1.1. <http://CRAN.R-project.org/package=nonrandom>
- TAHAL (Tahal Consulting Engineers). 1990. *Plan Maestro de Abastecimiento del Agua Potable de la GAM. Informe Final Tomo III: Aspectos Hidrológico e Hidrogeológicos*. San José: TAHAL
- Tiebout, C.M. 1956. A pure theory of local expenditures. *Journal of Political Economy*, 64(5), 416-424
- Zeileis, A. y T. Hothorn. 2002. Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News*, 2(3), pp. 7-10. URL <http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>